

ESTUDO DAS VANTAGENS DA APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS, INDÚSTRIA 4.0, NO CONTEXTO INDUSTRIAL

NUNO FILIPE SOARES MARTINS

julho de 2018

ESTUDO DAS VANTAGENS DA APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS, INDÚSTRIA 4.0, NO CONTEXTO INDUSTRIAL

Nuno Filipe Soares Martins



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2018

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Nuno Filipe Soares Martins, N° 1050042, 1050042@isep.ipp.pt

Orientação científica: Eng. António Augusto Araújo Gomes, aag@isep.ipp.pt

Empresa: Litoral cogumelos

Supervisão: Eng. Gonçalo Ramos (Litoral Cogumelos)



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2018

Dedico este trabalho à empresa NP.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos meus dois principais colegas de curso, o Engenheiro Pedro Gonçalves e o Engenheiro Henrique Rocha, sem eles não teria terminado. A eles, muito obrigado.

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido na empresa Litoral Cogumelos, situada em Lavra, Matosinhos. O trabalho contempla o estudo e viabilidade económica da implementação de tecnologias da indústria 4.0 numa indústria de produção de cogumelo em tronco.

No capítulo 2 é abordado e descrito o conjunto de tecnologias que quando conjugadas tornam uma indústria, numa Indústria 4.0.

Dado que a definição de Indústria 4.0 não é consensual e ainda está em evolução, tentou-se dar maior ênfase e abordar aquelas tecnologias mais representativas, que definem neste momento, uma Indústria 4.0.

No capítulo 3 é apresentado um estudo de caso, onde começa-se por se discutir e apresentar como é feita a produção de cogumelos, e depois indicam-se que tecnologias se devem ou podem aplicar em cada fase do processo produtivo, e apresenta-se quais as mais valias ou não da sua aplicação.

No fim deste trabalho pode-se concluir que apesar de ser possível e de já existirem tecnologias capazes de tornar a produção de cogumelo em tronco num processo 100% automatizado, isso não é interessante do ponto de vista económico, dado o valor avultado do investimento inicial. Contudo também se conclui que em certos processos a aplicação da robótica e automatização são viáveis economicamente, logo apesar de não ser aconselhável uma total automatização, em certos processos sim é.

Palavras-Chave: indústria 4.0, automatização, produção de cogumelos em tronco, robótica, Shiitake.

Abstract

This work was developed in the company Litoral Mushrooms, situated in Lavra, Matosinhos. The work includes the study and economic feasibility of implementing 4.0 industry technologies in a trunk mushroom production industry.

Chapter 2 discusses and describes the set of technologies that, when combined, make an industry in an Industry 4.0.

Given that the definition of Industry 4.0 is not consensual and is still evolving, it has been tried to give more emphasis and to address those most representative technologies, which at the moment define an Industry 4.0.

In Chapter 3 a case study is presented, where we begin by discussing and presenting how mushroom production is made, and then indicate which technologies are due or can be applied at each stage of the production process, and which are the benefits or not of this application.

At the end of this work it can be concluded that although it is possible and already exist technologies capable of turning mushroom production into a 100% automated process, this is not economically interesting given the large amount of the initial investment. However, it is also concluded that in certain processes the application of robotics and automation are economically feasible, therefore, although it is not advisable to fully automate, in certain processes, yes.

Keywords: *industry 4.0, automation, production of trunk mushrooms, robotics, Shitake.*

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABELAS	X
LISTA DE ACRÓNIMOS E SIGLAS	XI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.ASPETOS GERAIS	1
1.2.CONTEXTUALIZAÇÃO	3
1.3.OBJETIVOS	5
1.4.CALENDARIZAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	6
2. INDÚSTRIA 4.0	7
2.1.ASPETOS GERAIS	7
2.2.OBJETIVOS E PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0	9
2.3.VISÃO GERAL	16
2.4.DIRETRIZES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES INDÚSTRIA 4.0	19
2.5.TIPOS DE REDES UTILIZADAS NA INDÚSTRIA 4.0	26
2.6.INTERNET DAS COISAS (INTERNET OF THINGS – IOT)	31
2.7. <i>BIG-DATA</i>	40
2.7.1.ASPETOS GERAIS	40
2.7.2. <i>CLOUD</i>	42
2.7.3. <i>BIG DATA ANALYTICS</i>	44
2.7.4.BANCO DE DADOS EM <i>CLOUD</i> PARA TOMADA DE DECISÕES NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	45
2.8. <i>CLOUD COMPUTING</i> NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	51
2.8.1.ASPETOS GERAIS	51
2.9.INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	59
2.9.1.ASPETOS GERAIS	59
2.9.2.APRENDIZAGEM BASEADA EM EXEMPLOS	61
2.9.3.UTILIDADE DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA AS EMPRESAS	62
2.9.4.INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NAS INDÚSTRIAS	63

2.10.CYBER-PHYSICAL SYSTEMS (CPS).....	64
2.11.MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM	65
2.11.1.FUNÇÕES PRINCIPAIS	68
3. ESTUDO DE CASO – ADAPTAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE PRODUÇÃO DE COGUMELOS À INDÚSTRIA 4.0	71
3.1.A PRODUÇÃO DE COGUMELOS EM TRONCO	71
3.1.1.ASPETOS GERAIS	71
3.1.2.IMPORTÂNCIA COMERCIAL, MEDICINAL E RELIGIOSA DO COGUMELO	72
3.1.3.BENEFÍCIOS DOS COGUMELOS SHIITAKE	73
3.1.4.ESPÉCIES DE COGUMELOS COMESTÍVEIS/MEDICINAIS CULTIVÁVEIS EM TRONCOS DE MADEIRA.....	73
3.1.5.COMO CULTIVAR COGUMELOS EM TRONCOS	74
3.1.5.1.ESCOLHA DAS SEMENTES.....	74
3.1.5.2.SELEÇÃO E CORTE DOS TRONCOS.....	75
3.1.5.3.FURAÇÃO	76
3.1.5.4.INOCULAÇÃO	76
3.1.5.5.INCUBAÇÃO	76
3.1.5.6.INDUÇÃO DE FRUTIFICAÇÃO	77
3.1.5.7.COLHEITA.....	77
3.1.5.8.PÓS-COLHEITA.....	77
3.1.5.9.ESCOLHA DAS ESTIRPES DE COGUMELOS	78
3.1.5.10.VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS VÁRIOS TIPOS DE INÓCULO.....	78
3.1.5.11.DEZ MITOS SOBRE A PRODUÇÃO DE COGUMELOS SHIITAKE EM TRONCOS	80
3.1.5.12.PRINCIPAIS EMPRESAS PRODUTORAS DE COGUMELOS EM PORTUGAL	83
3.2.APRESENTAÇÃO DA EMPRESA LITORAL COGUMELOS	83
3.3.PROCESSO DE PRODUÇÃO ATUAL DA EMPRESA “LITORAL COGUMELOS”	86
3.4.PROPOSTA DE TRANSFORMAÇÃO DA EMPRESA LITORAL COGUMELOS NUMA INDÚSTRIA 4.0	100
3.4.1.ASPETOS GERAIS	100
3.4.2.PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO NOS DIVERSOS PROCESSOS	101
3.4.2.1.PROCESSO DE COMPRAS.....	101
3.4.2.2.TRANSPORTE DOS TRONCOS DO CAMIÃO PARA A ZONA DE FURAÇÃO	106
3.4.2.3.FURAÇÃO DOS TRONCOS E INOCULAÇÃO	109
3.4.2.4.PALETIZAÇÃO DOS TRONCOS	112
3.4.2.5.CONTROLO DE TEMPERATURA, HUMIDADE, AREJAMENTO E EXPOSIÇÃO SOLAR	114
3.4.2.6.CONTROLO E DETEÇÃO DE CONTAMINAÇÕES E COLHEITA DOS COGUMELOS.....	118
3.4.3.ANALISE GERAL DAS SOLUÇÕES APRESENTADAS.....	121
4. CONCLUSÕES.....	124
4.1.CONCLUSÕES GERAIS	124
4.2.COMPONENTE ACADÉMICA	125

4.3.PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO.....	126
4.3.1.MELHORAMENTO CONSTANTE DO PRODUTO FINAL E PROCESSOS	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130

Índice de Figuras

FIGURA 1	- AS QUATRO REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS [16].....	2
FIGURA 2	- ANO MEDIO ESPERADO PARA CADA PONTO CRÍTICO [1]	3
FIGURA 3	- PERCENTAGEM EXPECTÀVEL DE IMPLEMENTAÇÃO NO ANO DE 2025 [1]	4
FIGURA 4	- DATAS DAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS [32]	8
FIGURA 5	- CRIAÇÃO DE UM <i>CYBER PHYSICAL SYSTEM</i> [32]	10
FIGURA 6	- CONCEITO DA INTERNET DAS COISAS [32]	10
FIGURA 7	- INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (IHM)	13
FIGURA 8	- PRINCIPAIS TIPOS DE SENSORES UTILIZADOS NA INDÚSTRIA 4.0 [13].....	17
FIGURA 9	- PRINCIPAIS MEIOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA INDÚSTRIA 4.0 [13] .	17
FIGURA 10	- INTERLIGAÇÃO DOS VÁRIOS SISTEMAS DA INDÚSTRIA 4.0 [13].....	18
FIGURA 11	- FÀBRICA DO FUTURO E SUAS CARACTERÍSTICAS (LUETH, 2015).....	19
FIGURA 12	- EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO E DE DISPOSITIVOS [31].....	32
FIGURA 13	- NÚMERO DE APARELHOS CONECTADOS NO MUNDO POR SETOR [16].....	38
FIGURA 14	- EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE APARELHOS CONECTADOS [16]	38
FIGURA 15	- VENDEDORES DE PLATAFORMAS DE INTERNET DAS COISAS [39].....	39
FIGURA 16	- CADEIA DE VALOR DA INTERNET DAS COISAS [40]	39
FIGURA 17	- IMPORTÂNCIA DA INTERNET DAS COISAS POR ATIVIDADE INDUSTRIAL [40]	
	40	
FIGURA 18	- <i>BIG DATA</i> [31].....	41
FIGURA 19	- PIRÂMIDE DIKW [31]	41
FIGURA 20	- IMPORTÂNCIA DA <i>CLOUD</i> NA INDÚSTRIA 4.0 [33]	44
FIGURA 21	- ALGORITMOS PARA <i>MACHINE LEARNING</i> [FONTE: FAGBOHUN (2014)]	60
FIGURA 22	- PIRÂMIDE DA AUTOMAÇÃO (REDITECH, 2016) [33]	65
FIGURA 23	- FUNÇÕES DO <i>MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM</i> (MCCLELLAN) [33]	66
FIGURA 24	- RELAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA 4.0 [33]	67
FIGURA 25	- EXEMPLO DE UM COGUMELO SHITAKE	72
FIGURA 26	- MICÉLIO EM GRÃO	74
FIGURA 27	- MICÉLIO EM CAVILHAS	75
FIGURA 28	- TRONCOS CORTADOS EMPILHADOS PARA PRODUÇÃO	75
FIGURA 29	- TIPOS DE MICÉLIO [24]	78
FIGURA 30	- PRINCIPAIS FABRICANTES DE COGUMELOS EM PORTUGAL [24]	83
FIGURA 31	- MÉTODO DE ARMAZENAGEM VERTICAL – VISTA DE PORMENOR.....	84
FIGURA 32	- MÉTODO DE ARMAZENAGEM VERTICAL – VISTA GERAL.....	85
FIGURA 33	- MATERIAIS RUDIMENTARES PARA PRODUÇÃO NÃO INDUSTRIAL [28].....	86

FIGURA 34	- ZONA DE PRODUÇÃO (VISTA LONGITUDINAL).....	87
FIGURA 35	- ZONA DE PRODUÇÃO (RAMPA PARA A FURAÇÃO)	88
FIGURA 36	- ZONA DE PRODUÇÃO (VISTA LATERAL).....	89
FIGURA 37	- ZONA DE PRODUÇÃO (CARRINHOS).....	89
FIGURA 38	- ZONA DE PRODUÇÃO (POSTO DA FURAÇÃO) – VISTA DE PORMENOR	90
FIGURA 39	- ZONA DE PRODUÇÃO (POSTO DA FURAÇÃO) – VISTA GERAL	90
FIGURA 40	- FURAÇÃO MANUAL (OUTRO PROCESSO).....	91
FIGURA 41	- INOCULAÇÃO MANUAL POR CANETA DE INOCULAÇÃO	91
FIGURA 42	- MÀQUINA DE INOCULAÇÃO SEMIAUTOMÁTICA	92
FIGURA 43	- PISTOLA DE INOCULAÇÃO	92
FIGURA 44	- SELANTE EM RODELAS DE ESFEROVITE	93
FIGURA 45	- ZONA DE PRODUÇÃO (VISTA DO OPERADOR DE INOCULAÇÃO)	93
FIGURA 46	- TRONCOS EMPILHADOS	94
FIGURA 47	- SENSOR DE HUMIDADE E TEMPERATURA	95
FIGURA 48	- APARELHO DIGITAL DE MEDIÇÃO DE HUMIDADE E TEMPERATURA.....	95
FIGURA 49	- NEBULIZADOR PARA ASPERSÃO DE NUBLOSA DE ÀGUA	96
FIGURA 50	- LONA NEGRA PARA CONTROLO DA EXPOSIÇÃO SOLAR E TEMPERATURA...	97
FIGURA 51	- MANIVELA DE ABERTURA DO TELHADO	97
FIGURA 52	- EQUIPAMENTOS PARA O CHOQUE TÉRMICO EM ÀGUA	98
FIGURA 53	- ESTRUTURA METÀLICA DE ARMAZENAGEM DE TRONCOS EM FASE DE FRUTIFICAÇÃO	98
FIGURA 54	- TRONCOS EM FASE DE FRUTIFICAÇÃO – MÉTODO TRADICIONAL	99
FIGURA 55	- ARCA FRIGORIFICA	99
FIGURA 56	- FLUXOGRAMA DE VERIFICAÇÃO DO ESTADO DOS TRONCOS	103
FIGURA 57	- TRANSPORTE DE TRONCOS	106
FIGURA 58	- ESTEIRA PARA TRANSPORTE DE TORAS [25].....	107
FIGURA 59	- BRAÇO ROBÓTICO PARA MANIPULAÇÃO DE TRONCOS.....	107
FIGURA 60	- MÀQUINA DE INOCULAÇÃO AUTOMÁTICA – VISTA LATERAL [27].....	110
FIGURA 61	- MÀQUINA DE INOCULAÇÃO AUTOMÁTICA – VISTA FRONTAL [27]	110
FIGURA 62	- TRONCOS EMPILHADOS PARA PRODUÇÃO.....	112
FIGURA 63	- TRONCO CONTAMINADO	119

Índice de Tabelas

TABELA 1 - TAREFAS E CALENDARIZAÇÃO DO TRABALHO REALIZADO	6
TABELA 2 – INTERNET DAS COISAS VS INTERNET INDUSTRIAL DAS COISAS [33]	34
TABELA 3 - DURAÇÃO POR TIPO DE MANEIRA	102
TABELA 4 - ANÁLISE ECONÓMICA RELATIVA À IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIAS INDÚSTRIA 4.0 NO PROCESSO DE COMPRAS	105
TABELA 5 - ANÁLISE ECONÓMICA RELATIVA À IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIAS INDÚSTRIA 4.0 NO PROCESSO DE MOVIMENTAÇÃO DE TRONCOS	109
TABELA 6 - ANÁLISE ECONÓMICA RELATIVA À IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIAS INDÚSTRIA 4.0 NO PROCESSO DE FURAÇÃO E INOCULAÇÃO	112
TABELA 7 - ANÁLISE ECONÓMICA RELATIVA À IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIAS INDÚSTRIA 4.0 NO PROCESSO DE EMPILHAMENTO DOS TRONCOS	114
TABELA 8 - ANÁLISE ECONÓMICA RELATIVA À IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIAS INDÚSTRIA 4.0 NO PROCESSO DE CONTROLO DE TEMPERATURA, HUMIDADE, AREJAMENTO E EXPOSIÇÃO SOLAR	118
TABELA 9 - ANÁLISE ECONÓMICA RELATIVA À IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIAS INDÚSTRIA 4.0 NO PROCESSO DE DETEÇÃO DE CONTAMINAÇÕES E COLHEITA DOS COGUMELOS	121
TABELA 10 - ANÁLISE ECONÓMICA RELATIVA À IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIAS INDÚSTRIA 4.0 EM TODOS OS PROCESSOS PROPOSTOS	122

Lista de acrónimos e siglas

3D	– Terceira Dimensão
API	– Aplicações
CCTV	– Circuito Fechado de Televisão
CNC	– Controlo Numérico Computadorizado
CPS	– Cyber Physical System
DIKW	– Knowledge Management Cognitive Pyramid
ERP	– Sistema Integrado De Gestão
GPS	– Globas Sistem Position
IA	– Inteligência Artificial
IA	– Inteligência Artificial
IaaS	– Infrastructure-As-A-Service
IHM	– Interface Homem Máquina
IoT	– Internet Of Things
IP	– Endereços De Protocolo Da Internet
M.E.S	– Manufacturing Execution System
M2M	– Machine To Machine
PaaS	– Platform-As-A-Service
PBT	– Payback Time

RFiD	–	Radio-Frequency Identification
ROI	–	Retorno sobre o Investimento
SaaS	–	Software-as-a-Service
Scada	–	Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados
SOA	–	Arquitetura Orientada a Serviços
TI	–	Tecnologia da Informação
TO	–	Tecnologia da Operação
TPM	–	Total Productive Maintenance
TPU	–	Tensor Processing Unit

1. INTRODUÇÃO

1.1. ASPETOS GERAIS

O presente documento pretende apresentar o trabalho desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Dissertação, do curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistema Elétricos de Energia, do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O trabalho é desenvolvido no tema, indústria 4.0, com especial foco na criação de soluções e proposta de tecnologias da indústria 4.0, para uma indústria agrícola de produção de cogumelos em tronco chamada Litoral Cogumelos.

Ao longo dos tempos o setor industrial sofreu diversas evoluções. Com a criação de novas tecnologias, e conforme estas se iam tornando economicamente viáveis, foram sendo implementadas, e com a sua implementação surgiram picos evolutivos na indústria, surgindo níveis de produtividade, qualidade e custo de produção muito superiores aos até então conseguidos, por esse motivo se decidiu distinguir os 4 picos evolutivos até agora observados e chamar-lhes “revoluções industriais”.

A figura 1 mostra as várias revoluções industriais.

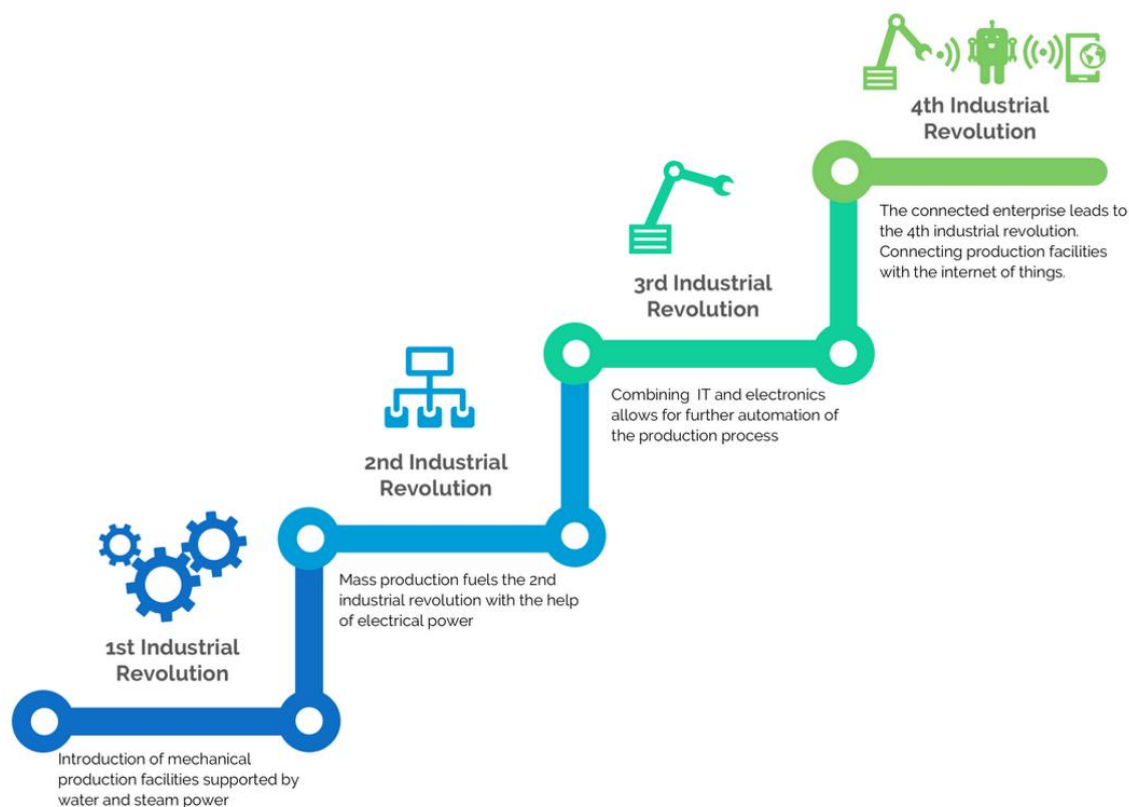


Figura 1 - As quatro revoluções industriais [16]

O conceito de indústria 4.0 engloba uma série de tecnologias extremamente complexas, que para o objetivo desta dissertação não será possível serem todas discutidas de forma exaustiva. Dar-se-á especial foco e ênfase às tecnologias mais úteis para o nosso estudo de caso, e serão abordadas as outras principais tecnologias que compõem a indústria 4.0.

Serão também largamente abordadas as boas práticas a implementar na indústria, tanto ao nível da manutenção, como da operação. Espera-se que no fim deste documento o leitor esteja familiarizado com o tema, entenda sucintamente tudo o que o contempla, e entenda as mais valias e custos da sua aplicação.

Nos capítulos finais, será apresentado um projeto de implementação de metodologias 4.0, numa indústria real, onde foram propostas medidas de implementação da indústria 4.0, assim como realizada uma análise económica.

1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO

A decisão por optar pela realização de um trabalho no âmbito da indústria 4.0, justifica-se pelo facto do mesmo ser consensualmente de enorme relevância num futuro próximo, tal como o seguinte artigo elaborado pelo (*World Economic Forum* (WEF)) refere:

Em setembro de 2015 o WEF publicou um relatório intitulado “*Deep Shift Technology Tipping Points and Societal Impact*” que teve por base uma consulta a 800 executivos e especialistas do setor de tecnologias da informação e comunicação e que pedia que localizassem no tempo, de acordo com a sua perceção, 21 pontos críticos de mudança.

A Figura 2 mostra o resultado dessa análise, com a referência temporal de quando é esperado que os 21 pontos críticos ocorram.

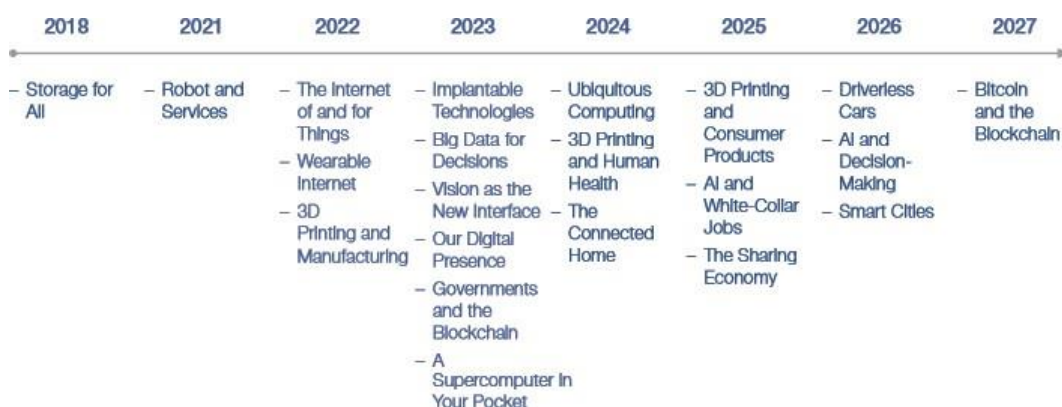


Figura 2 - Ano medio esperado para cada ponto crítico [1]

Com base nas respostas dadas, foi possível analisar, para cada um dos referidos pontos críticos, qual a percentagem expectável de implementação no ano de 2025, isto é, no prazo de 10 anos.

O resultado é apresentado na Figura 3.

10% of people wearing clothes connected to the Internet	91.2
90% of people having unlimited and free (advertising-supported) storage	91.0
1 trillion sensors connected to the Internet	89.2
The first robotic pharmacist in the US	86.5
10% of reading glasses connected to the Internet	85.5
80% of people with a digital presence on the Internet	84.4
The first 3D-printed car in production	84.1
The first government to replace its census with big-data sources	82.9
The first implantable mobile phone available commercially	81.7
5% of consumer products printed in 3D	81.1
90% of the population using smartphones	80.7
90% of the population with regular access to the Internet	78.8
Driverless cars equalling 10% of all cars on US roads	78.2
The first transplant of a 3D-printed liver	76.4
30% of corporate audits performed by AI	75.4
Tax collected for the first time by a government via a blockchain	73.1
Over 50% of Internet traffic to homes for appliances and devices	69.9
Globally more trips/journeys via car sharing than in private cars	67.2
The first city with more than 50,000 people and no traffic lights	63.7
10% of global gross domestic product stored on blockchain technology	57.9
The first AI machine on a corporate board of directors	45.2

Figura 3 - Percentagem expectável de implementação no ano de 2025 [1]

No referido relatório são identificados seis principais aspetos que estão a redefinir a sociedade, criando oportunidades e riscos:

1. Pessoas e a internet: Redes sociais, a forma como as pessoas interagem umas com as outras.
2. Computadores, comunicações e armazenamento: A rápida redução de custo, o tamanho dos computadores e tecnologias de comunicação.
3. Internet das coisas: Sensores cada vez mais pequenos e baratos estão a ser introduzidos em casas, acessórios, cidades, transportes e processos produtivos.

4. Inteligência Artificial e *Big-Data*: Crescimento exponencial da digitalização, da informação acerca de tudo e de todos associados a *software* com algoritmos cada vez mais sofisticados e capazes de aprender e evoluir sozinhos, começam a ocupar lugares até agora reservados ao homem, inclusive lugares de decisão.
5. Economia partilhada e confiança distribuída: As redes sociais, a partilha de recursos em vez da sua aquisição, as bitcoins e a *blockchain* estão a criar novos modelos de negócio e a reformular os existentes, alterando a forma como nos relacionamos e a perceção de confiança entre parceiros.
6. Digitalização da matéria: A impressão em três dimensões (3D) de objetos físicos recorrendo à produção aditiva e usando materiais cada vez mais evoluídos e inteligentes está a transformar a era industrial, no que diz respeito a prototipagem, *batch size* 1, logística de distribuição e a criar um conjunto de oportunidades para o ambiente industrial, mercado doméstico e saúde.

1.3. OBJETIVOS

Com o presente trabalho, pretendeu-se realizar um estudo aprofundado, sobre a quarta revolução industrial, a chamada indústria 4.0.

Foram estudadas as mais valias da aplicação das tecnologias da indústria 4.0, nomeadamente: *Internet of Things*, *Big Data*, *cloud computing*, inteligência artificial (IA), *Cyber-Physical Systems* (CPS), *Manufacturing Execution System* - M.E.S e outras.

Através das tecnologias, sistemas e processos, referidos anteriormente, o sector industrial irá dar um passo significativo no caminho de níveis de eficiência e produção, significativamente superiores aos atualmente existentes.

Irão ser estudados casos reais e será também proposto a uma empresa um conjunto de equipamentos e tecnologias para otimizar todo o seu processo industrial, realizando o cálculo do respetivo retorno sobre o Investimento (ROI) do projeto.

1.4. CALENDARIZAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Dada a dimensão, complexidade e inovação do trabalho desenvolvido, a realização do mesmo contemplou diversas tarefas, sendo elas:

- Estudo do estado da arte sobre a quarta revolução industrial e todas as suas componentes técnicas.
- Estudo da produção tradicional de cogumelos em tronco e cogumelo branco.
- Visitas, reuniões e inspeções no terreno a indústrias (Litoral Cogumelos)
- Elaboração do relatório final

Nome das Etapas	out/17	nov/17	dez/17	jan/18	fev/18	mar/18	abr/18	mai/18
Estudo do Estado da Arte da Indústria 4.0								
Estudo da Produção Tradicional de Cogumelos em Tronco								
Visitas / Reuniões / Inspeções no terreno (Indústria Litoral Cogumelos)								
Reuniões / Entrevistas com Vendedores de Soluções 4.0								
Criação de uma Solução de automação 4.0 para a Litoral Cogumelos								
Elaboração do Relatório Final								

Tabela 1 - Tarefas e calendarização do trabalho realizado

O presente relatório está organizado em quatro capítulos.

No primeiro capítulo é feita a introdução ao tema e ao trabalho realizado, sendo abordados também os objetivos do mesmo e sua calendarização.

No segundo capítulo são apresentadas as várias tecnologias da indústria 4.0, aprofundando cada uma dessas tecnologias, explicando em que consistem e quais as mais valias da sua aplicação no contexto industrial.

No terceiro capítulo é explicada como é realizada a produção tradicional de cogumelos em tronco e é realizado o estudo de caso desta dissertação, onde se propõem para cada processo da indústria Litoral Cogumelos, soluções indústria 4.0, com o objetivo de a transformar numa indústria mais eficiente e mais produtiva.

Por fim no último capítulo, o capítulo 4, são expostas as conclusões deste trabalho, onde se expõem as mais valias da implementação das tecnologias sugeridas no estudo de caso.

2. INDÚSTRIA 4.0

2.1. ASPETOS GERAIS

A 1ª revolução industrial emerge em Inglaterra, entre 1750 e 1815. A base desta revolução é a realidade de Manchester: as máquinas movidas a vapor, transporte férreo e navegação marítima. O exemplo espalhou-se por vários países e continentes, nomeadamente Estados Unidos da América, França e Japão.

Em 1870, dà-se início à 2ª revolução industrial, agora nos Estados Unidos da América e Alemanha. Esta revolução inspirou os desenvolvimentos táticos, técnicos e científicos utilizados na Primeira e Segunda Guerra Mundiais. Uma época assente nos ramos da metalúrgica e da química, sendo que a eletricidade e o petróleo eram vistos como as principais fontes de energia.

Um século depois, no início da década de 1970, emerge a 3ª revolução industrial. Esta revolução trouxe mão-de-obra qualificada, criatividade e regime de trabalho flexível. Explorou-se a eletrónica e a informática, para operar máquinas de controlo numérico computadorizado (CNC), robôs e biotecnologia.

Na edição de 2011 da Feira de Hannover, foi apresentado o conceito de Indústria 4.0, que veio a originar a 4ª revolução industrial.

A Figura 4 ilustra as datas que marcaram o início das revoluções industriais.

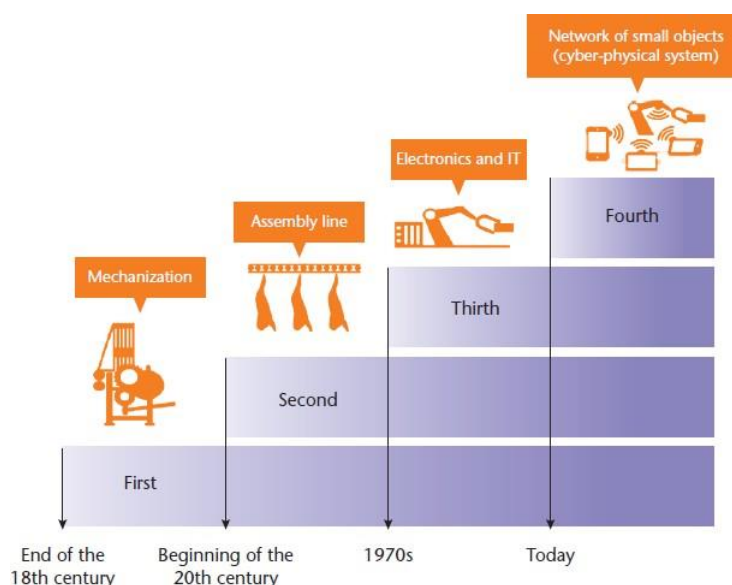


Figura 4 - Datas das revoluções industriais [32]

A partir de 2011, data em que o governo Alemão indicou a Indústria 4.0 como uma das principais iniciativas da alta tecnologia, várias universidades, empresas e entidades focalizaram a sua ação na compreensão e potencialidades deste conceito, acreditando numa revolução a nível industrial.

Focada na digitalização de processos e na sua integração em ecossistemas digitais, a análise de dados e a confiança digital são os pilares da Indústria 4.0.

Com esta 4ª revolução industrial, espera-se conseguir níveis de produção largamente superiores aos até então alcançados. Passaremos para uma industrialização quase 100% independente da intervenção humana, em alguns setores, e com um controlo e qualidade dos processos muito superior. Estamos perante um grande salto quantitativo e qualitativo na indústria da transformação, o que acarretará como nas outras revoluções industriais anteriores, um reposicionamento e modificação dos tipos de trabalhos existentes em mercado [32].

Em 2014, o tema passou a chamar a atenção de várias empresas internacionais, sendo que poucas estavam em processo de implementação.

Este paradigma mudou drasticamente em 2017, sendo que muitas empresas se encontram, agora (2018), em processo de implementação ou terminaram recentemente esse processo.

A *Critical Manufacturing (Software developer)*, *Altro-nix* (soluções de identificação automática e mobilidade) e *Prodsmart* (empresa de transformação de linhas de produção) foram as primeiras empresas, a nível nacional, a adotar a implementação da Indústria 4.0.[3]

2.2. OBJETIVOS E PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0

2.2.1. ASPETOS GERAIS

Atualmente, pretendem-se processos autónomos e “totalmente” automatizados, para aumentar a produtividade e competitividade, bem como aumentar a capacidade de produção e a redução dos custos dos produtos.

Neste pressuposto, foi criada a ideia de “fábricas inteligentes”, um dos objetivos da Indústria 4.0. Baseado em processos industriais descentralizados e controlados por sistemas ciber-físicos (*Cyber Physical System* – CPS) e pela “internet das coisas” (*Internet of Things* – IoT), propõe uma alteração no paradigma das fábricas, empresas ou entidades que adotem este paradigma. Decorre daqui uma descentralização do controlo de processos produtivos ao longo de toda a linha de produção e logística. Através dos CPS juntamente com a IoT, é possível criar ambientes de produção inovadores, flexíveis e capazes de atingir os principais objetivos da Indústria 4.0.

2.2.2. CYBER PHYSICAL SYSTEM

Uma estrutura *Cyber Physical* é uma relação entre o ser humano e o CPS que pretende atingir automação industrial, aliada a uma elevada digitalização de informações.

Através de computadores, monitorizam-se e controlam-se os processos físicos de fabrico, normalmente com *loops* de realimentação. Para implementar um CPS é fundamental estudar a dinâmica dos processos físicos, *software* e redes de comunicação. Para o acesso à rede do CPS é atribuído um endereço de protocolo de internet (*Internet Protocol* – IP) aos dispositivos do sistema.

Na figura 5 é apresentada uma forma evolutiva de criação de sistemas CPS.

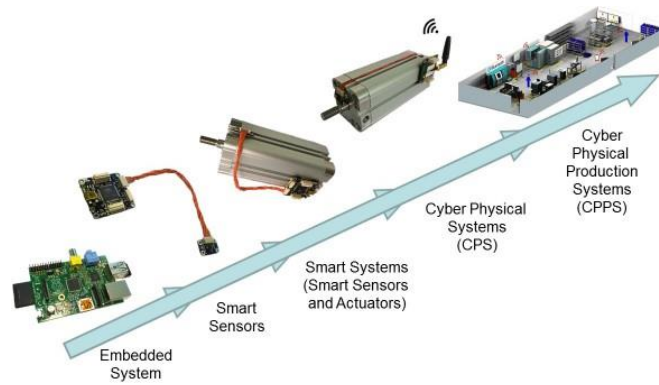


Figura 5 - Criação de um *Cyber Physical System* [32]

2.2.3. INTERNET DAS COISAS (INTERNET OF THINGS – IoT)

O objetivo da Internet das Coisas (IoT) é potenciar a recolha de dados e a atuação remota através da comunicação entre sistemas, utilizando, para o efeito, endereços de IP, como anteriormente referido.

Apesar do termo “internet das coisas” ser cada vez mais utilizado, na verdade não existe uma definição consensual, ou sequer, uma compreensão concreta do que engloba. Várias empresas já comercializam produtos e serviços baseados na IoT.

Formaram-se consórcios para definir normas e padrões para a IoT. Trata-se de um conceito que, apesar de implementado na sociedade atual, ainda tem muito potencial para se desenvolver.

A IoT é responsável por realizar comunicação direta entre sistemas, máquinas, produtos e/ou pessoas e capaz de tomar decisões sem interferência humana.

A Figura 6 ilustra em que consiste o conceito de IoT.



Figura 6 - Conceito da internet das coisas [32]

A Indústria 4.0 baseia-se em 5 principais princípios:

1. Capacidade de operação em tempo real – leitura e processamento de informação instantaneamente
2. Digitalização/virtualização – cópia do ambiente de produção, de forma a ser possível supervisão remota
3. Descentralização – divisão da produção em módulos de produção controladas através de CPS e interligadas entre si
4. Orientação para serviços – utilização de *software*, baseado na IoT, de forma a comunicar entre sistemas e equipamentos
5. Flexibilização – alteração àgil dos módulos de produção consoante as necessidades impostas pelos clientes/mercado

A Indústria 4.0 é uma clara mudança de paradigma industrial que permite melhorar os resultados através da receita, dos custos e da eficiência global.

A obtenção de uma receita adicional é proveniente de:

- Aumento da quota de mercado nos principais produtos
- Maiores margens, em produtos e serviços, obtidas a partir da análise de dados
- Novos produtos, serviços e soluções digitais
- Produtos personalizados

Os menores custos e maior eficiência provêm de:

- Controlo de qualidade em tempo real
- Digitalização e automatização de processos
- Planeamento, em tempo real, para otimização da execução
- Produção flexível e adaptável pelo cliente
- Utilização inteligente dos recursos humanos e maior velocidade nas operações

Devido à importância e ao investimento efetuado por Estados, empresas e fábricas, a 4ª revolução industrial será uma realidade, cada vez mais, direcionada para a criação e/ou melhoramento de negócios.

O relatório “The Future of Jobs” afirma que” ...em breve, à IoT se juntará a inteligência artificial e a robótica com automação, de tal forma que estará formado o trio que levará a um rápido avanço da 4ª revolução industrial ou a uma versão avançada da mesma...”.

Embora grande parte destas tecnologias se encontrem disponíveis, a sua aplicação concreta na Indústria 4.0 deve ser realizada de forma gradual e natural. A rapidez da sua implementação deve ser diretamente proporcional aos meios económicos, estratégicos e tecnológicos, tanto da empresa/fábrica como do país, onde o conceito venha a ser implementado.

2.2.4. INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

Como referido anteriormente, a implementação da Indústria 4.0 assenta num modelo onde todos os elementos possuem capacidades autónomas de processamento e comunicação. Partindo deste princípio e imaginando a evolução tecnológica, é certo que o papel a desempenhar pelas pessoas no futuro “mundo fabril” será afetado. As máquinas e restantes componentes tornam-se, cada vez mais, autónomos, criando cenários de produção complexos e automatizados. Apesar de todos estes fatores, a Indústria 4.0 não vai de encontro a uma realidade de produção sem operário. As características individuais devem ser aproveitadas, para que as pessoas sejam parte do CPS, de forma a otimizar ao máximo a produção. O rendimento é mais elevado se o Homem e a Máquina trabalharem em atenta articulação.

A interação entre o ser humano e o CPS levanta questões sobre o poder de decisão, sendo que o ser humano assume esse papel, como uma entidade de controlo de nível superior. O seu papel é definir uma estratégia de produção e supervisionar a implementação, podendo, através dos princípios da Indústria 4.0, monitorizar a produção no local ou à distância. O ser humano será responsável por colmatar problemas que a parte cibernauta não seja capaz de resolver. A parte cibernauta encarrega-se de “responder” ao ser humano, tendo em conta que é a parte mais operacional. A sua função é realizar o que o ser humano idealizou e transmitir informação sobre a implementação.

A Interface Homem Máquina (IHM) será crítica para o sucesso desta coabitação do homem e dos sistemas CPS nas fábricas do futuro.

Para uma ótima IHM é necessário assegurar dois pontos. Primeiro, as estratégias a implementar têm de ser adequadas às capacidades organizacionais e tecnológicas do ser humano, sendo que este tem de ser capaz de compreender os requisitos para o qual foi designado. Segundo, consiste em apresentar soluções adequadas e transparentes ao ser humano, no que diz respeito aos sistemas de produção. Em suma, o ser humano deve ter acesso a todas as informações do projeto, de forma a manipular e supervisionar, de forma intuitiva, dados e valores. Diz-se que uma IHM é intuitiva quando as experiências adquiridas no mundo real são passadas para o mundo digital e vice-versa.

A Figura 7 representa um exemplo de IHM.



Figura 7 - Interface homem-máquina (IHM)

Quando se trabalha com CPS, utilizando *smartphones*, *tablets*, etc., a comunicação pode ser realizada através de reconhecimento de voz, reconhecimento de gestos ou sensibilidade ao toque.

O reconhecimento de voz apresenta inúmeras vantagens, nomeadamente em situações onde a atenção visual do ser humano está totalmente ocupada com o ambiente de trabalho.

Um dos exemplos deste tipo de tecnologia é a aplicação Siri, da Apple. O controlo através de gestos é semelhante ao reconhecimento de voz, visto que se trata de um método com resposta imediata.

A Vicon (marca com elevada precisão, embora mais dispendioso) e o modelo Kinect da Microsoft (alternativa low-cost) são exemplos de dispositivos que utilizam esta tecnologia.

A sensibilidade ao toque é o método mais comercial dos três apresentados. No mundo industrial, emergem situações onde é imprescindível a utilização de luvas, o que leva os fabricantes de *hardware* a desenvolver soluções para contornar este fator. Visto que o método de sensibilidade ao toque pode funcionar através do calor do corpo humano, a utilização de luvas não permite que o dispositivo reconheça o calor humano (à imagem do que acontece com os smartphones). Por esta limitação, este método é o menos dispendioso dos exemplos apresentados.

Os produtos já encontram o seu caminho, sozinhos, através do processo produtivo. Um dos pilares deste tipo de produção altamente flexível é o *Make-To-Order*.

Os processos e as máquinas nas fábricas inteligentes (modulares) comunicam entre eles. Matéria prima e máquina estão conectadas através da *Internet Of Things*.

Poderão subsistir distintas identificações, ou formas de rastrear produto acabado e fases do processo, mas a ideal ou preferida é o *Radio-Frequency IDentification* (RFiD) pois é muito flexível e arquiva uma descrição exata de como o produto tem de ser processado (que etiqueta, que aparafusadora, que parafuso...).

A principal mais valia da Indústria 4.0 é a capacidade de operação em tempo real que oferece. Obtém dados, regista e trata-os de forma instantânea.

De forma instantânea e natural, as vantagens de uma indústria tão poderosa como a que se relata, são:

- Redução de Custos
- Economia de Energia
- Aumento de Segurança
- Conservação Ambiental
- Redução de Erros
- Fim do Desperdício
- Transparência nos Negócios

- Aumento da Qualidade de Vida; (*Venturelli*, 2014)

Esta revolução nasceu de 4 pilares distintos que impulsionaram a transição da 3ª para a 4ª revolução (de maior digitalização da indústria de transformação), a saber:

- O aumento drástico e rápido do volume de dados, poder da computação e conectividade
- O avanço das capacidades analíticas
- A introdução da nova forma de interações humanas e das máquinas
- As inovações facilitando a transferência de dados digitais para algo fisicamente utilizável
- Melhorias na robótica
- Impressão 3D
- Prototipagem rápida

Daqui, podemos definir as principais características desta indústria que são:

- Integração vertical dos sistemas de produção inteligentes
- As fábricas inteligentes não podem trabalhar sozinhas, isto é, existe uma necessidade de conexão entre outras fábricas inteligentes, produtos inteligentes
- Através dos sistemas físico-cibernéticos é possível reagir rapidamente a variáveis acontecimentos de Mercado ou necessidades (níveis de *stock*, atrasos imprevistos, problemas de qualidade...)
- Logística inteligente
- Integração com as tecnologias de informação
- Uso da *Cloud*
- Integração horizontal através da rede de cadeia global de valor

- Relação estreita entre cliente e fornecedor
- Logística Inteligente
- Através da Engenharia em toda a cadeia de valor
- O foco é o processo produtivo
- Gestão eficiente da inovação
- Gestão eficiente do tempo de vida do produto
- Aceleração através de tecnologias exponenciais
- Operações de negócios

Relativamente às vantagens desta revolução, estas são inúmeras e podem apontar-se as seguintes:

- Aumento da educação com competências específicas e necessárias à Indústria 4.0
- Interligação de todos os departamentos

De agora em diante, a migração para a Indústria 4.0 trará um aumento de competitividade enorme entre as empresas, aumento de produtividade, aumento da receita, intensificação de oportunidades de emprego e fortalecimento dos recursos humanos, otimização dos processos produtivos, desenvolvimento de tecnologias exponenciais assim como um melhor atendimento ao cliente. (Arktis, 2016)

2.3. VISÃO GERAL

Esta revolução industrial não seria possível sem que primeiro estivessem disponíveis os elementos técnicos primordiais, que são os sensores, os meios de comunicação e os atuadores.

Estes elementos são o que possibilita passar de um trabalho braçal, para um trabalho cada vez mais robotizado e com reduzida presença humana.

As figuras 8 e 9, dão exemplos desses elementos técnicos essenciais:

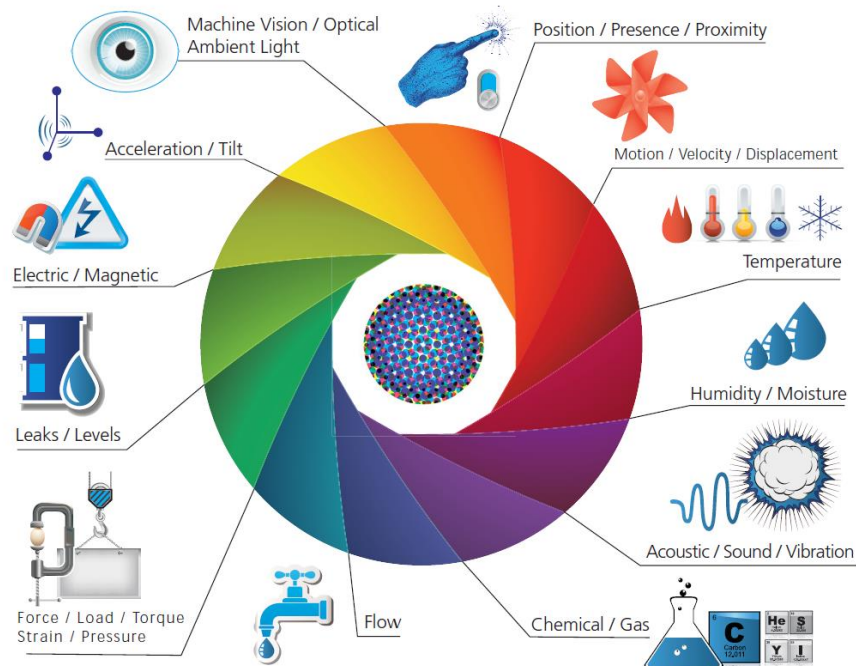


Figura 8 - Principais tipos de sensores utilizados na indústria 4.0 [13]

These inputs are digitized and placed onto networks.

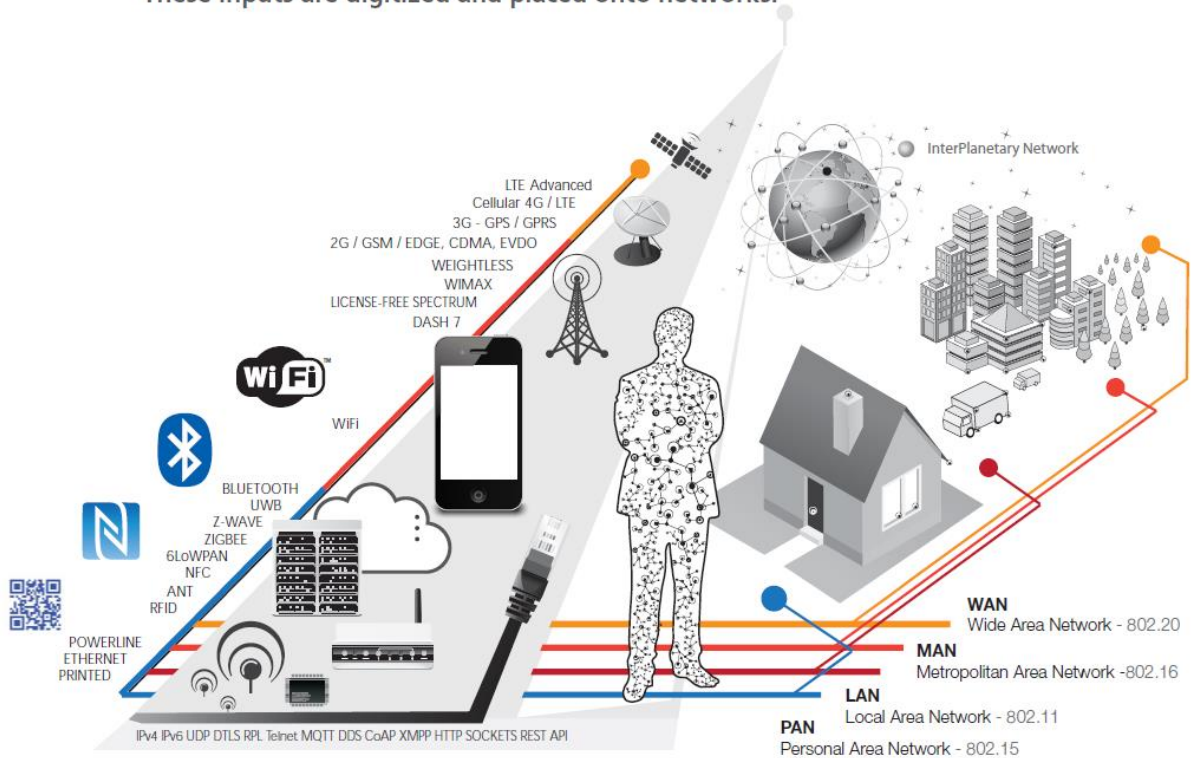


Figura 9 - Principais meios de comunicação utilizados na indústria 4.0 [13]

Nas figuras 10 e 11 podemos ver esquematizada a forma dinâmica em como os vários sistemas que compõem a indústria 4.0 interagem e comunicam entre si e com as pessoas que os operam e utilizam.

These networked inputs can then be combined into bi-directional systems that integrate data, people, processes and systems for better decision making.

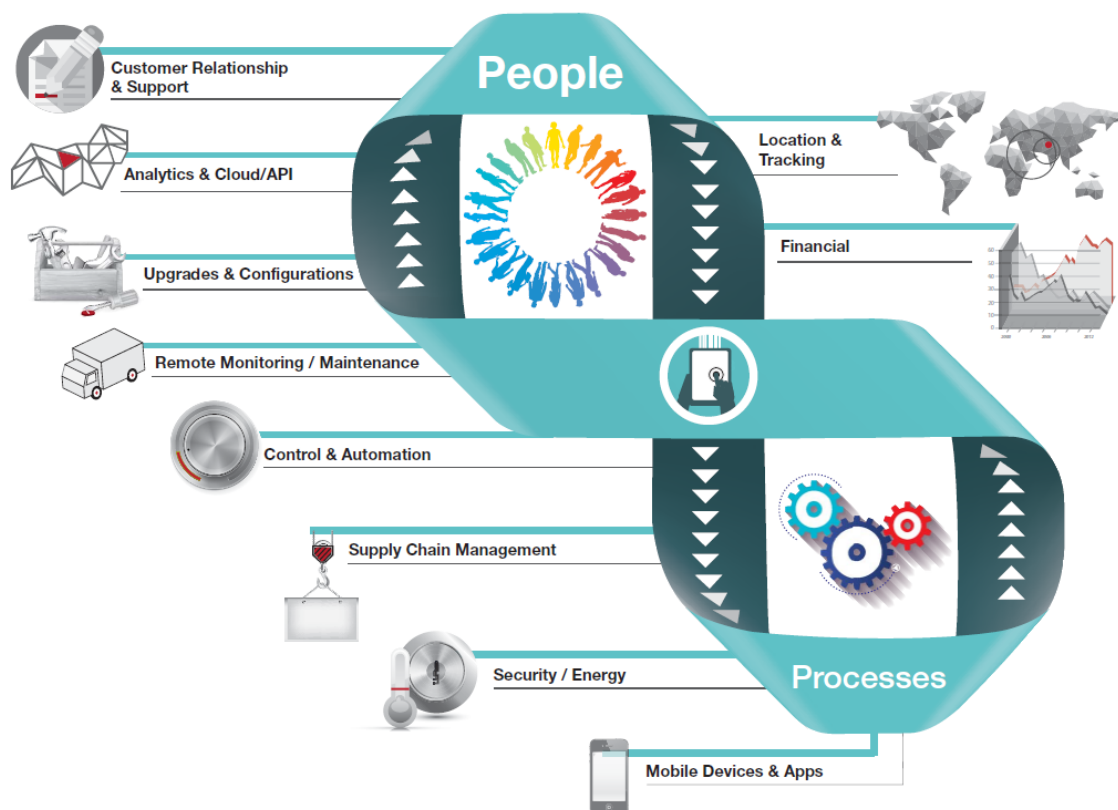


Figura 10 - Interligação dos vários sistemas da indústria 4.0 [13]

15 components of the smart factory of the future

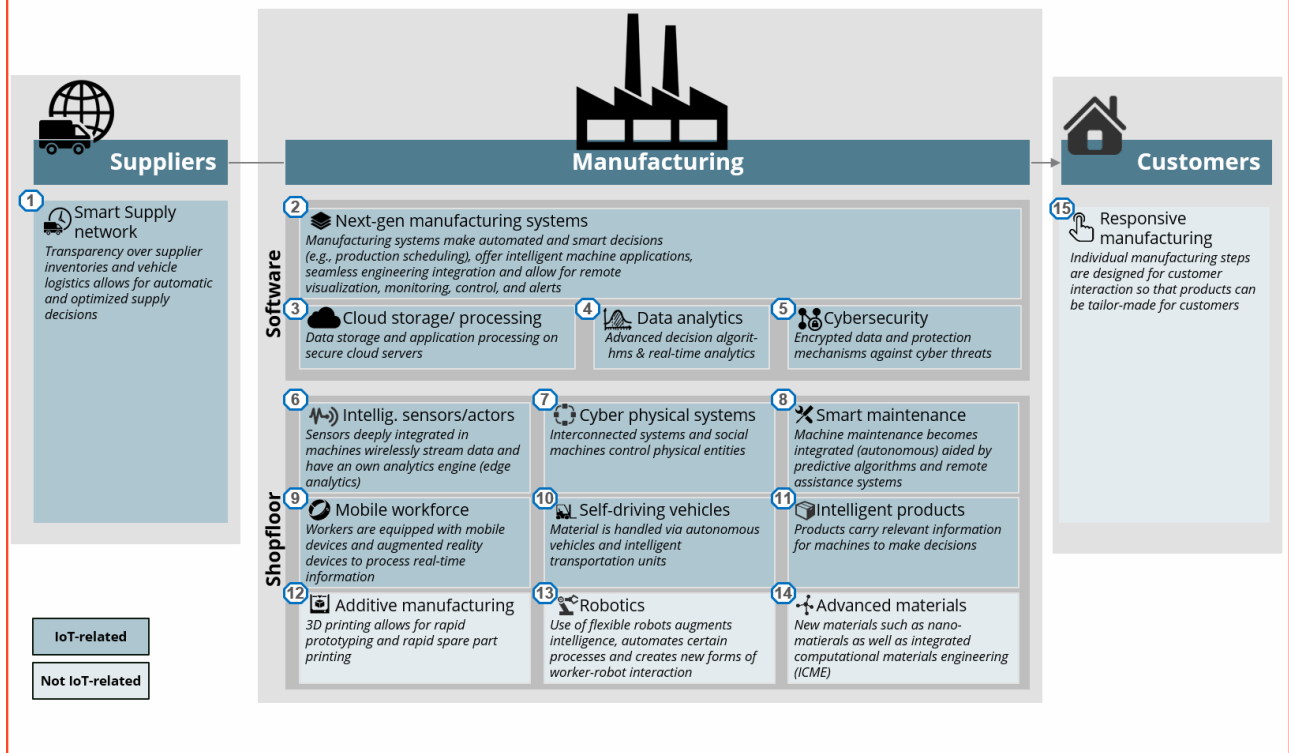


Figura 11 - Fàbrica do futuro e suas características (Lueth, 2015)

2.4. DIRETRIZES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES INDÚSTRIA 4.0

Nesta secção do trabalho, será apresentada a forma de implantação de projetos de automação industrial, com tecnologias da Indústria 4.0.

A implementação de um modelo de Indústria 4.0, deverá observar as seguintes etapas:

- Passo 1 - Entenda o conceito da Indústria 4.0 e seus impactos
- Passo 2 - Analise a automação existente na sua planta
- Passo 3 - Otimize o processo existente
- Passo 4 - Faça a convergência de dados da cadeia produtiva
- Passo 5 - Implante as ferramentas da Indústria 4.0 (redesenhe seus processos)

Quando numa indústria 3.0 se entende a necessidade de evoluir e modernizar essa indústria para uma indústria 4.0, normalmente temos alguns cenários conhecidos:

- Tenho uma produção e necessito colocar o nível de produção aderente a Indústria 4.0
- Quais ferramentas já posso utilizar e qual a utilidade no novo modelo de produção digital
- Como alterar uma cultura de produção para um novo modelo, desde planeamento até operação

O modelo produtivo evoluiu ao longo do tempo, alterando o perfil da produção, que no início, só se tinha a visão da planta local e seu processo unitário, com a automação e redes de informação, passamos a conectar o planeamento e gestão na produção, tendo um contexto maior da planta, mas ainda limitado ao processo local, com a Indústria 4.0 e as redes convergentes, o modelo produtivo, passa a ser o próprio modelo de negócios, uma vez que a conexão é de toda a cadeia produtiva que orbita no ecossistema da empresa.

Para transformar a indústria existente, numa indústria 4.0, temos alguns desafios que são comuns para uma análise:

- Como atualizar uma planta produtiva existente de acordo com um modelo da Indústria 4.0
- Como gerar valor no negócio a partir de um novo modelo de planeamento e gestão produtivo
- Como incorporar novas tecnologias de produção e planeamento, com o objetivo de aumentar a receita e diminuir custos

Um projeto de automação que tenha as premissas da Indústria 4.0, deve-se enquadrar nas melhores técnicas disponíveis da tecnologia, e deve ter em atenção os seguintes pontos:

- Conhecimento da Atividade (informação)
- Produtividade (eficiência produtiva)

- Decisões (diagnósticos e prognósticos)
- Novos formatos (oportunidades de negócio)

A automação industrial dos projetos atuais, devem ter as seguintes diretrizes, uma vez que estes sistemas devem dar as respostas à indústria digital:

- Permitir novas formas de fazer negócios
- Eliminar ao máximo o desperdício e o erro
- Permitir customização e personalização da produção

As principais características da Indústria 4.0 é ser colaborativa, preditiva e inteligente, para isso, sua arquitetura de produção deve ser, interoperável, flexível e descentralizada, com impactos diretos na escala produtiva, mão de obra e tomada de decisões.

Para os projetos de automação industrial, devemos utilizar as tecnologias da Indústria 4.0, que se tronem necessárias, sendo que as principais são:

- Redes de comunicação
- Cibersegurança
- IOT internet industrial
- *Cloud Computing*
- *Big Data* (Armazenamento em massa de dados)
- *Data mining*
- Aprendizado de máquina
- Virtualização (digitalização)
- Realidade aumentada
- Gêmeos digitais ou digital *twin* – (cópia virtualizada de processos reais)
- SOA - *Service-oriented architecture*

- OPC-UA / OPC-Unified Architecture - machine to machine communication protocol
- RFID
- Produção por adição
- *Drones*
- Robôs

Como deve ser a arquitetura da Indústria 4.0 e o que deve ser levado em consideração no contexto de projeto e implantação:

- A planta deve ser interoperável – todo sistema se comunica
- Deve permitir virtualização – do planejamento a manutenção
- Deve ser flexível, modular e descentralizada
- Utilizar banco de dados em formato *Big Data* e em *Cloud*
- Utilizar modelos decisórios baseados em análise de dados
- Estar estruturada com sistemas de Cibersegurança

A questão da interconexão, deve levar em consideração particularidades de cada setor, sistema, departamento, ou fornecedores, internos ou externos, que participem do processo produtivo e, devem ser observados que cada agente deste, deve estar conectado a um sistema de *Cloud*, que permita produzir informações de forma a unir no ecossistema, e o *Big Data*, absorverá todas estas informações, permitindo modelagem de dados para tomada de decisões.

A Indústria 4.0, em processos dinâmicos, que necessitem de customização em massa, devem ter sistemas de automação descentralizados, que controle células locais e respondam a processos centrais, sendo um arranjo de automação altamente flexível, que permita interconexão e mudanças rápidas na produção, além de sistema de segurança que monitore todo o processo em rede.

Na utilização das tecnologias, as principais diretrizes que temos que ver, no que se refere a aplicação, devemos levar em consideração de forma prática:

- Conectar todas as informações (automação, IoT, IIoT, banco de dados)
- Usar *Cloud* e *Big Data* para centralizar e analisar dados
- Usar *data mining* para eliminar decisões intermediárias, focando o gestor
- Usar aprendizado de máquina para operar o sistema, fazendo do operador um supervisor de processo
- Usar predição (analisador de causas), criando prognóstico em produção e manutenção

As tecnologias da Indústria 4.0, permeiam uma grade de projetos, todavia não necessariamente usaremos todos os elementos, ou pelo menos, devemos entender o que são rotas de dados para o usuário, por exemplo, o dado iniciado pelo processo, pode seguir uma rota de Cibersegurança e IoT diretamente para a operação, não necessariamente sendo analisado no *Big Data*, deve-se construir as rotas de acordo com cada processo.

Abaixo sugerimos a observação das principais diretrizes para projetos de sistemas para Indústria 4.0:

- Instrumentação e medição: Use redes *Ethernet* e redes *Wireless* – adote protocolos industriais baseado em *Ethernet* e integre o IoT Industrial
- Controle: Descentralize ao máximo o controle, isso dará flexibilidade à produção, use microcontroladores e controladores centrais de comunicando e conecte na *Cloud*
- Infraestrutura: Use ferramentas de virtualização, *Cloud computing* e gestão do sistema via *outsourcing*
- Operação. Use dispositivos móveis, crie aplicativos de alta integração, evolua no uso do *Deep Learning* para apoio da operação

- Manutenção: Use modelos de manutenção baseado em eventos, conecte dados no *Cloud* e use prognósticos de ativos e acesso remoto
- Gestão da Produção: Conecte os dados da produção, conecte ativos pela IoT e sistemas pela IIoT, use o *Big Data*
- Apoio a tomada de decisões: Conecte os dados da cadeia de produção no *Big Data* e use ferramentas de *Data mining* e *Machine Learning*

Utilize serviços de *Cloud Computing*, onde estas plataformas são utilizadas e pagas como serviços, tais como, IBM *BlueMix*, Google *Cloud Platform*, Microsoft Azure, Amazon AWS, com as principais características:

- Armazenagem de dados
- Máquinas virtuais
- Processamento sob demanda
- Segurança de dados
- Mineração de dados
- Aprendizagem de máquina
- *Dashboard*

Crie uma estrutura de conectividade, que permita que os dados internos de produção circulem pelas redes, use *Gateways* e servidores OPC, use sistemas de roteamento de dados para conexão ao *Cloud*, crie modelos de gestão, manutenção, planeamento e automação, dentro do ecossistema.

Elabore uma arquitetura de automação que contemple todos os agentes produtivos da indústria, pense no negócio como um todo e como ele se relaciona, conecte todas as tecnologias disponíveis e crie os *webservices*, para que sejam produzidas e consumidas as informações dentro desta arquitetura.

A implantação de um modelo de Indústria 4.0 é uma mudança cultural de produção, é a própria fábrica digital para um novo modelo industrial, necessitando de liderança

transformativa na indústria, sendo liderada por uma geração digital de profissionais que entenda o valor da mudança, liderada pelo CEO, líderes da transformação e composta por equipes também líderes e polivalentes, seguindo os principais passos como sugestão de implantação:

Passo 1 - Aplique *Lean Manufacturing* e indicadores de gestão e eficiência OEE

Passo 2 - Identifique na produção o processo de maior integração - faça um piloto

Passo 3 - Defina sua capacidade produtiva - crie modelos de tomada de decisões (*Big Data*)

Passo 4 - Aplique convergência e *Machine Learning* - elimine operações no processo

Passo 5 - Escale o processo - integre setores - replique o modelo

Passamos abaixo, alguns pontos importantes para serem observados na implantação:

- Análise do status atual de automação (dados) de planta
- Análise do status atual de operação, manutenção e planejamento
- Identificação de pontos, operação e ações de otimização (ativos de planta, ponto de operação e segurança operacional)
- Desenho da convergência de dados e informações da planta (infraestrutura)
- Análise e projeto do sistema de cibersegurança (TO e TI)
- Projeto de digitalização – complemento de IOT e dados externos (PCP, MES, MOM) – modelo de tomada de decisões
- Redesenho
- Tomada de decisões na gestão da planta
- Ações de controle ótimo
- Prognósticos de manutenção

- Treino

Relacionamos abaixo os principais benefícios esperados com a implantação de um roteiro para preparar a indústria para ser uma Indústria 4.0:

- Iniciar o processo pela Indústria 4.0 e se adequar ao futuro da Manufatura e Processos
- Obter novas oportunidades de ligar a fábrica aos consumidores e processos de inovação
- Gerir receita e custos, baseado em status de tempo real e prognósticos de cenários
- Diminuir o tempo de tomada de decisões, diminuir erros de operação e integrar planeamento e qualidade da produção em tempo real
- Aumento do portfólio de oportunidades de negócios, com uma fábrica flexível, integrada e descentralizada

Concluimos que o projeto e implantação da Indústria 4.0, ainda estão no início de uma curva de maturidade, ainda que já haja tecnologia disponível, todavia, a questão é “saber” unir todos os pontos (universo cibernético) e mudar uma cultura de produção, de forma a obter vantagens competitivas num mundo altamente digital e dinâmico.

2.5. TIPOS DE REDES UTILIZADAS NA INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0, como vimos, é um ecossistema cibernético, onde informações, pessoas e máquinas, trocam informações.

Para que isso seja possível, precisamos interconectar todos estes elementos em uma rede, de forma que os dados possam trafegar de forma vertical e horizontal em todo o sistema automatizado, permitindo a interoperabilidade do processo.

Comparando a criação de um sistema para a Indústria 4.0, com uma rodovia, primeiro vamos construir as vias (infraestrutura), depois vamos sinalizá-la (Cibersegurança), logo faremos as interconexões (IoT Internet das Coisas) e ligamos tudo isso a um sistema inteligente que “aprende” (*Big Data*), assim iremos explicar nos textos seguintes todos esses passos.

Para delimitar nosso tema de infraestrutura para a Indústria 4.0, lembrando que nosso foco é a automação industrial, vamos falar de:

- Como construir uma infraestrutura de conectividade industrial de modo a unir as informações de produção
- Quais tecnologias disponíveis para montar uma infraestrutura de redes industriais
- Entendendo a convergência de informações da TO Tecnologia da Operação e TI Tecnologia da Informação

Os cenários na indústria são diversos, mas podemos pontuar alguns principais abaixo para permitir a construção desta infraestrutura, que remetem as seguintes questões:

- Projetar e construir um sistema de automação que tenha informações de ativos, para operação e manutenção
- Interconectar dispositivos e sistemas na indústria de modo que haja troca de dados entre si
- Convergir informações de toda a cadeia produtiva, laboratórios, logística, planejamento, operação e manutenção

Quando pensamos em redes industriais e agora orientada a Indústria 4.0, esta evolução ocorre desde quando as informações eram isoladas nos próprios controle locais, não havia envio de informações, depois temos o advento das redes locais, permitindo uma primeira convergência, mesmo que na planta local, trocando informações no ambiente industrial e administrativo, e, agora temos um nível hierárquico para a Indústria 4.0, convergindo todas as redes da cadeia produtiva, que é a padronização da Indústria 4.0.

Para projetar e implantar esta infraestrutura, de modo que tenha interoperabilidade e atenda os níveis hierárquicos, temos diversos desafios, podemos pontuar alguns mais comuns:

- Como obter o máximo de dados de ativos e sistemas para criar um ecossistema de informações na indústria

- Como conectar redes com diversos padrões e protocolos, além de sistemas legados
- Como montar uma infraestrutura de redes que permita escalabilidade e simplicidade de acréscimo e crescimento

Então, perante estes desafios e tantas tecnologias existentes, a pergunta mais comum é: Que Rede Usar? Podemos comentar um alinhamento atual de aplicação, não único, mas mais usual atualmente, lembrando que a tecnologia não para de evoluir.

Qual a Rede “ideal” para a Indústria 4.0?

- A Rede Ethernet é o padrão da Internet
- Podemos usar todos os modelos (Cabo, FO, WiFi e Rádios)
- Pode servir de Backbone para conexão ao *Cloud*

Qual a rede “local” interna (máquina ou processo)?

- Uso de protocolos indústrias (Ethernet ou Seriais)
- Usar sistemas que simplificam a conexão (Wireless, FO)
- Usar Gateways ou Proxy para Convergência

A aplicação da *Ethernet* na indústria é a grande evolução e tende a ser totalmente adotada, uma vez que já está consolidada, todavia é importante entender que a *Ethernet* Industrial, tem características para o chão-de-fábrica, sendo as seguintes as principais que devem ser levadas em consideração:

- Aplicação em ambientes severos (hardware)
- Temperatura 75° c a -35° c (exemplo)
- Proteção mecânica especial
- IP (grau de proteção alto)
- Suportar vibração e impacto

- Alta imunidade a ruídos (EMI)
- Arranjos de alta disponibilidade (redundâncias)
- Uso de protocolos industriais

A rede *Ethernet* na indústria, permite a interconexão de todos os dispositivos de automação e controle, trocando informações no ambiente local e agora já trabalhando com *Cloud Computing* (computação nas nuvens), sendo que as arquiteturas para Indústria 4.0, devem levar em consideração a interoperabilidade da indústria, sua flexibilidade e sua modularização, permitindo uma produção customizada e personalizada.

Uma rede *Ethernet* é composta de diversos dispositivos, que formam a nossa via, os principais e suas funções, relacionamos abaixo:

- *Switches* não gerenciáveis – controlam o tráfego de dados na rede (MAC/IP)
- *Switch* Gerenciável – controlam o tráfego de dados na rede com funções administrativas (ex. VLAN)
- *Switch Layer 2* – controla o tráfego de rede na camada de IP
- *Switch Layer 3* (Roteador) – controla o tráfego de rede permitindo rotear (trocar dados) entre redes diferentes
- *Firewall* – dispositivo de segurança de acesso – bloqueando usuários e informações não permitidas na rede
- *Gateway* – dispositivo que converte um padrão / protocolo para um outro formato (ex. *Profinet* / *Profibus PA*)
- *Proxy* – dispositivo igual ao *Gateway*, porém é transparente para o controlador na rede (ponte direta)

Benefícios do uso da *Ethernet* na indústria:

- Rede simples de projetar e implantar
- Componentes de baixo custo, comparados a outras redes

- Permite diversos Protocolos dentro do Padrão
- Rede padronizada por normas em constante evolução
- Pode ser aplicada desde ambientes domésticos até industriais (componentes especiais)
- Rede interoperável e escalar

Nem todos os equipamentos ou sistemas estão preparados para entrar nesta via, o sistema de rede deve ter capacidade de se comunicar em diversos padrões e protocolos, além de suportar sistemas legados (antigos). Para que isso seja possível, é necessário utilizar *Gateways*, que são equipamentos que fazem a conversão de um padrão de rede e/ou protocolo, desta forma é necessário no projeto de convergência prever o uso destes dispositivos.

Além do entendimento da conexão física, os dados devem ser entendíveis entre si, dentro da indústria, trabalhamos com o SOA, Arquitetura Orientada a Serviços, isto é, todos os equipamentos e dispositivos são objetos que produzem e consomem informações dentro da rede, desta forma, através desta padronização, podem ser trocadas informações diretamente, interoperar, por exemplo, um caminhão comunicando-se na zona agrícola, em tempo real via *Global System Position* (GPS) com a fábrica, controlando a produção, através de uma informação logística, atuando na velocidade dos controladores de uma esteira, em tempo real.

Com isso vemos que as redes, da nossa infraestrutura, permitem a convergência de informação na indústria e toda a cadeia produtiva envolvida, este entendimento é fundamental, pois a Indústria 4.0, trabalha orientada a informações do processo como um todo, logo é necessário, que tudo o que faz parte deste ecossistema, esteja disponível nesta via.

Podemos ter em conta na implantação de uma rede industrial as diretrizes seguintes, de forma a construir esta infraestrutura de convergência na indústria:

- Desenhe todos os fluxos de negócios e suas inter-relações com todas as redes (*Workflow* com proposição de Valor)

- Prepare todas as redes de forma a serem produtoras e consumidoras de informações (padrão)
- Faça um projeto de conexão física, lógica, de segurança e de interligação das redes
- Programe os *Webservices* de acordo com as regras de negócio (troca de dados)
- Treine as pessoas para trabalhar em novos formatos de tomada de decisões, demonstrando o caminho da Indústria 4.0

Concluimos que a primeira fase física da implantação da Indústria 4.0 é a conectividade, devemos pensar em unir todos os dados da cadeia produtiva para a troca de informações, o uso de redes é o primeiro passo para permitir atender a esta necessidade, as redes *Ethernet* são uma ótima opção pela sua maturidade, conceitos de SOA associados a convergência de dados, complementam este objetivo [4].

2.6. INTERNET DAS COISAS (INTERNET OF THINGS – IoT)

2.6.1. ASPETOS GERAIS

O termo Internet das Coisas “Internet of Things (IoT)” refere-se a objetos físicos e virtuais ligados à internet, tem as suas raízes no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) quando em 1999 um grupo desenvolvia o seu trabalho na área da identificação por radio frequência (RFID) conectada. Desde então, tem sido impulsionada pelo aparecimento e uso generalizado de sensores cada vez mais pequenos e baratos, assim como um avanço nos dispositivos móveis, comunicações *Wireless* e tecnologias *Cloud*.

Como qualquer inovação, não “apareceu”, mas foi simplesmente sendo introduzida e melhorada exponencialmente. Cisco *Internet Business Solutions Group* (IBSG) defende que a internet of things surgiu entre os anos 2008 e 2010, altura em que o número de coisas ligadas à internet superou o número de pessoas. Estima-se que em 2020 o número de objetos ligados ronde os 50 mil milhões.

A figura 12 mostra-nos a evolução espectável da população mundial e do número de dispositivos conectados.

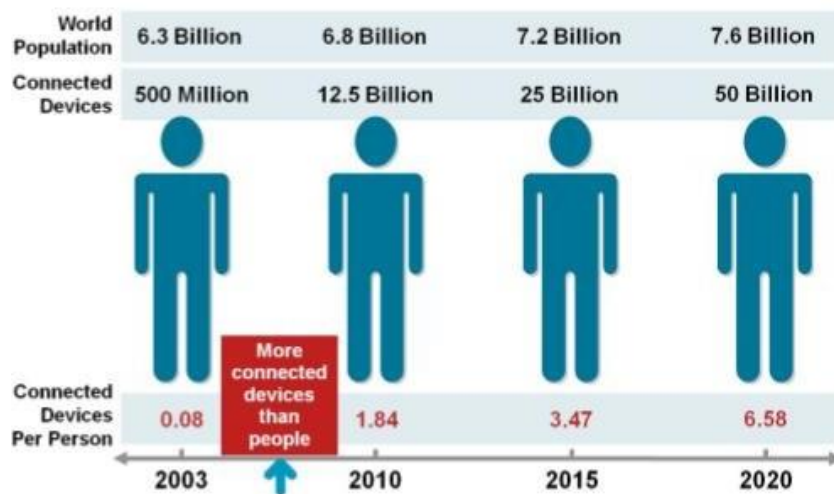


Figura 12 - Evolução da população e de dispositivos [31]

Atualmente a IoT faz parte do nosso quotidiano.

2.6.2. INTERNET DAS COISAS NA INDÚSTRIA 4.0

A digitalização de dados de máquinas, processos e dispositivos, complementam a camada operacional de uma planta industrial, a tecnologia IoT Internet das Coisas, como é conhecida, é a técnica que permite conectar informações em geral de dispositivos na Internet (*Cloud* – Nuvem), isto possibilita, dentro da Indústria 4.0, a interconexão de dados e sistemas, permitindo formar o ecossistema cibernético, onde conseguimos obter a interoperação completa e total da planta industrial, onde podemos chamá-la de planta digital.

Continuando a analogia já apresentada, das rodovias. Como já construímos as vias (infraestrutura), colocamos sinalização e procedimentos de tráfego (cibersegurança), agora será indicado como poderemos permitir que todos os elementos ao redor desta rodovia (cadeia produtiva), possam trocar informações entre si, criando um ambiente digital, impactando novos formatos de produção, desde o planeamento, a logística, passando pela produção e qualidade, com isso, iremos falar sobre:

- Como criar uma camada de digitalização do processo produtivo – IoT

- Como conectar a cadeia de fornecimento, complementando a interconexão da indústria – IIoT
- Quais ferramentas de gestão operam no nível de digitalização da produção

Quando pensamos em digitalizar a produção industrial, temos diversos cenários, abaixo listamos alguns que ocorrem:

- Numa unidade produtiva, é necessário digitalizar os movimentos dos ativos para planejamento e controle da qualidade
- Para apoiar o setor de manutenção, a digitalização de todos os elementos ativos, documentos e cenários, permitem o prognóstico de planta
- A interconexão de logística, fornecedores, suprimentos, agregados na rede industrial, permitem gestão em tempo real para a produção

Na evolução da informação digital das indústrias, existiu uma época em que os dados não eram digitais, a informação existente era analógica, depois houve a evolução dos dispositivos, mas continuava com o foco local, após esta fase, temos com as redes locais, a possibilidade de verticalizar dados, que são digitais, trocando informações do chão de fábrica, planejamento e administração com a TI, todavia, com foco apenas nos sistemas que permitiam esta função, mas a Indústria 4.0, necessita de uma outra camada, para que de fato tenhamos uma produção digital, desta forma, os ativos, sistemas e subsistemas da cadeia produtiva, devem complementar as informações de toda a unidade industrial, através da convergência de todas as redes [33].

Para a digitalização de dados da indústria, temos diversos desafios, podemos eleger alguns comuns para que sejam pensados na implantação da solução:

- Como criar uma rede de informações complementar na produção que permita planejar e monitorar a produção e manutenção em tempo real
- Como conectar redes independentes, tais como, logística, fornecedores, laboratórios e unir nas redes industriais
- Como estabelecer padronização e segurança da informação nas redes de IoT na indústria

O conceito da informação digital no contexto da Indústria 4.0, é que este dado, deve ser de todos os ativos e sistemas (todas as coisas), deve estar em qualquer lugar e permitir a conexão com esta informação a qualquer hora.

A IoT Internet das Coisas, surge como a ideia de conectar qualquer dispositivo que gere informações e possa se conectar a um serviço de *Cloud*, isso pode estar em qualquer âmbito, casa, hospitalar, desportivo, entre outros. A IIoT Internet Industrial das Coisas, foi a evolução das informações da cadeia produtiva, com o mesmo conceito de IoT, conectando estas informações via *Cloud*, por exemplo.

É importante saber a diferença entre IoT e IIoT, sistemas que conectam coisas, complementam informações, normalmente somente produzem dados, pode ser usado em qualquer setor da indústria, por exemplo, para gerir ativos e analisar tendências de manutenção. A IIoT, forma uma camada crítica do processo produtivo, por exemplo, pode-se conectar diretamente um fornecedor de produto em tempo real na linha de produção, que analise a qualidade e uso de seu produto, outro exemplo, conectar a cadeia logística de entrada e saída de materiais e controlar a produção, em tempo real, no ponto ótimo de operação, isso passa a ser uma aplicação de produção e consumo de dados, com perfil crítico.

Revolução/Modelo	IOT	IIOT
Estado	Revolução	Evolução
Prioridade	Coisas	Dados
Material “usado”	Novos equipamentos	Equipamentos já existentes

Tabela 2 – Internet das Coisas vs Internet Industrial das Coisas [33]

A utilização de IoT e IIoT, trazem benefícios às plantas produtivas, onde são esperados os seguintes ganhos:

- Redução de operações ou paragens
- Melhoria do uso do ativo
- Redução de operações ou custo do ciclo do ativo
- Melhoria do uso do ativo – performance
- Melhoria da produção

- Aumento da rapidez na tomada de decisões
- Oportunidade para novos negócios
- Permitir venda ou compra de produtos como serviço

A Indústria 4.0, propõe a fábrica digital, com isso, a premissa de se digitalizar todas as informações, pode levar a uma dúvida, sobre a razão e motivo de digitalizar tantos dados, que antes não estavam disponíveis em tempo real e agora, se fazem necessários, abaixo estão, os motivos para se digitalizar estes dados através da IoT e IIoT:

- Informação barata
- Transformar informação em inteligência
- Diminuir Expertise
- Diminuir risco de tomada de decisões
- Diminuição de operações
- Transparência de ações
- O executado é “aprendido”
- Eliminar o “meio”
- Eliminar erro e desperdício
- Ganho de tempo

A camada de IoT e IIoT na indústria provocará um modelo de prognóstico, uma vez que a automação, que já existe, responde a perguntas do que está a acontecer, o que aconteceu e porque aconteceu, mas esta camada digital, responderá a perguntas tais como, o que irá acontecer, e, isso mudará a forma de operar e manter uma indústria.

Se as informações estão todas digitalizadas e há todos os meios (redes) para que trafeguem e troquem informações entre si, é esperado que possa haver tomada de decisões não só entre

operadores e máquinas, mas também entre máquina e máquina, isto chamamos de M2M, *Machine to Machine*.

Um item muito importante que deve ser levado em consideração para a digitalização da produção, são os RFID, os Sistemas de Identificação por Rádio Frequência, que em linhas gerais, permitem o rastreio total de todos os elementos produtivos dentro da planta e fora dela, permitindo ações em tempo real (tempo e local), fazendo correções, agindo de forma antecipada e monitorando a qualidade no instante do movimento produtivo.

Com estas camadas digitais, construídas pela IoT e IIoT, podemos utilizar tecnologias de planeamento, qualidade e operação, de uma forma totalmente inovadora, a Virtualização é o planeamento produtivo totalmente digital, do projeto à produção, podendo trabalhar todos os cenários, mesmo antes da produção real acontecer. A Realidade Virtual, a capacidade de trazer ao operador, planeador ou técnico de manutenção, a informação da indústria no local que ele está conseguindo ver e interagir no processo digital e recebendo a resposta no processo real, é a união máquina – homem.

As arquiteturas de sistemas de automação industrial, que tenham aderência a Indústria 4.0, devem prever, além das camadas já conhecidas de controlo operacional, a camada de IoT e IIoT, onde vamos convergir todos estes dados em um *Big Data*, entregando possibilidades de controlo operacional, com tomadas de decisões em formato de prognósticos e com possibilidade de ações autônomas.

Sobre os protocolos que são usados, é importante saber que a IoT, como foi dito, normalmente somente produz dados e envia, o protocolo MQTT, é bem aceite para esta aplicação, todavia, para IIoT, é necessário unir dados críticos de ação em processo, com protocolos existentes, comunicando em OPC-UA, que é a tecnologia mais atual para atender as premissas da Indústria 4.0.

Os sistemas de IoT e IIoT, devem ser projetados e ter ferramentas de segurança de dados, com as seguintes camadas, que permitam trafegar a informação dentro do sistema:

- Dado
- *Token* (gerador randômico)
- Zona de conexão

- Chave de acesso
- Encriptografia
- Autenticação
- Antivírus
- *Firewall* da rede

Para implantar a camada digital de IoT e/ou IIoT na indústria, sugerimos as seguintes observações, que são comuns em projetos de digitalização para tomada de decisões:

- Separar a camada de automação (comando e controle) – tabela de informações
- Digitalizar sinais das “COISAS” para completar tabela de dados IoT
- Conectar outras redes (Gestão, Manutenção, Planeamento, Qualidade, Laboratório) tabela de dados
- Conectar o mundo externo (Logística, Fornecedores, Clima...) IIoT
- Quais conjuntos de informações “formam” cenários para tomada de decisões?

Concluimos que a digitalização dos processos e toda a cadeia produtiva da indústria é a base da Indústria 4.0, com as camadas de IoT e IIoT é possível planejar, controlar e rastrear a produção, tanto por simulação digital, quanto por virtualização, ganhando tempo de tomada de decisões e redução de custos [33].

2.6.3. ALGUNS DADOS ESTATÍSTICOS E NÚMEROS RELATIVOS À INTERNET DAS COISAS

Na figura 13 podemos ter uma ideia da quantidade de aparelhos conectados atualmente no mundo por setor:

Connected Devices

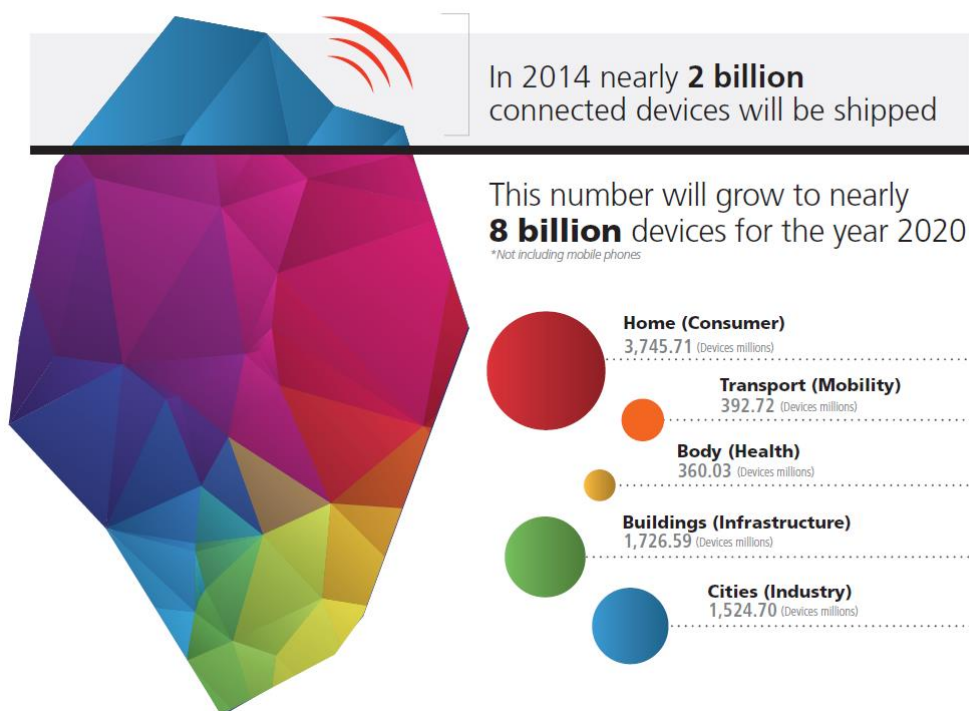


Figura 13 - Número de aparelhos conectados no mundo por setor [16]

A quantidade de dispositivos conectados tende a aumentar, como podemos observar na tabela 14:

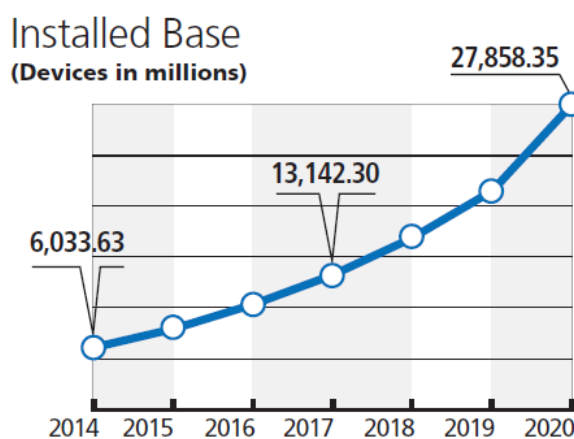
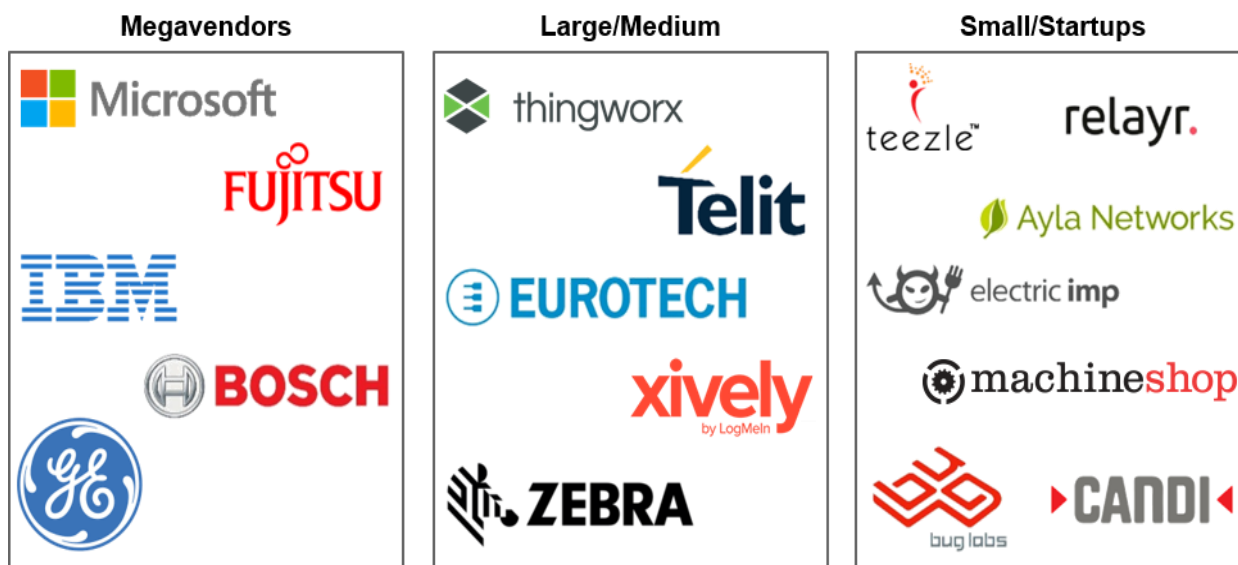


Figura 14 - Evolução do número de aparelhos conectados [16]

São várias as empresas que apostaram no desenvolvimento e venda destes equipamentos, dos quais destacam-se os seguintes:



Source: Gartner (July 2016)

Figura 15 - Vendedores de plataformas de Internet das Coisas [39]

No gráfico da figura 16 podemos ter uma ideia da cadeia de valor que é gerado por estes produtos:

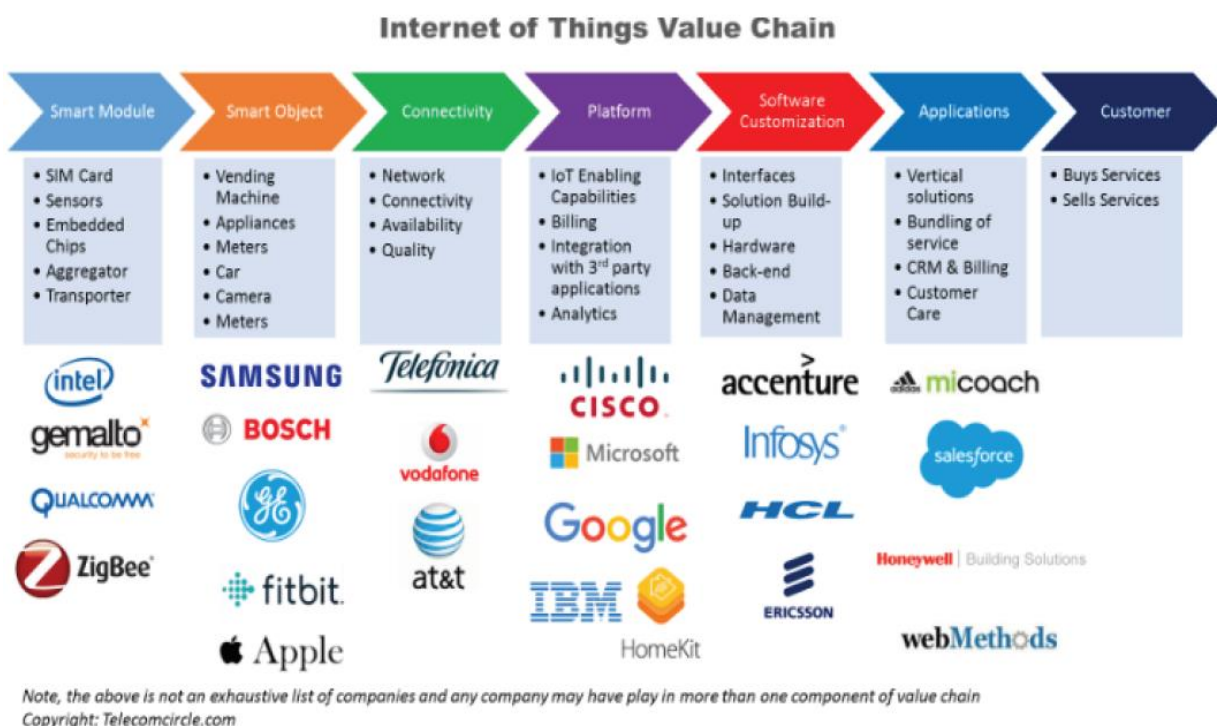


Figura 16 - Cadeia de valor da Internet das Coisas [40]

Na figura 17 podemos ver um gráfico que indica a importância dos dispositivos IoT por sector industrial:

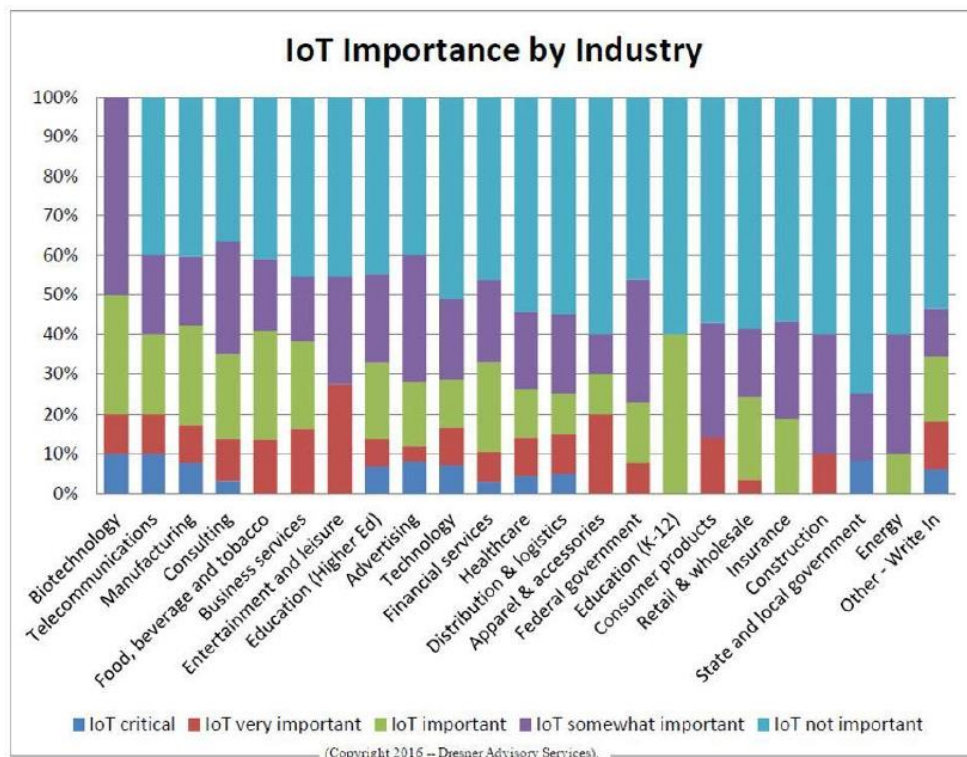


Figura 17 - Importância da Internet das Coisas por atividade industrial [40]

2.7. BIG-DATA

2.7.1. ASPETOS GERAIS

O conceito de *Big-Data* levanta algumas questões que as grandes empresas da área tecnológica tem se esforçado para resolver:

- Onde guardar os dados de forma segura e que possam ser acedidos em qualquer lugar?
- Como processar esses dados para que eles possam ter significado, permitindo às organizações melhorar as operações com decisões mais rápidas e inteligentes?

Na figura 18 vemos uma ilustração alusiva ao conceito subjacente ao *Big Data*.



Figura 18 - Big data [31]

Com tantos dados a serem gerado continuamente são precisas ferramentas de análise poderosas para lhe dar significado. Dados são números, palavras ou outros sinais e representam factos discretos sobre uma realidade objetiva. Podem ser verificados e validados, contudo não tem qualquer significado se não forem interpretados e contextualizados, dando origem à informação. Por seu lado a informação tende a evoluir levando à criação de teorias e a prever o futuro, neste caso estamos perante conhecimento.

Apesar de não ser conhecida com exatidão as suas raízes, a pirâmide DIKW mostrada na figura 19, é usada à vários anos na área das tecnologias de informação, e reflete os vários níveis de informação e a sua relação.

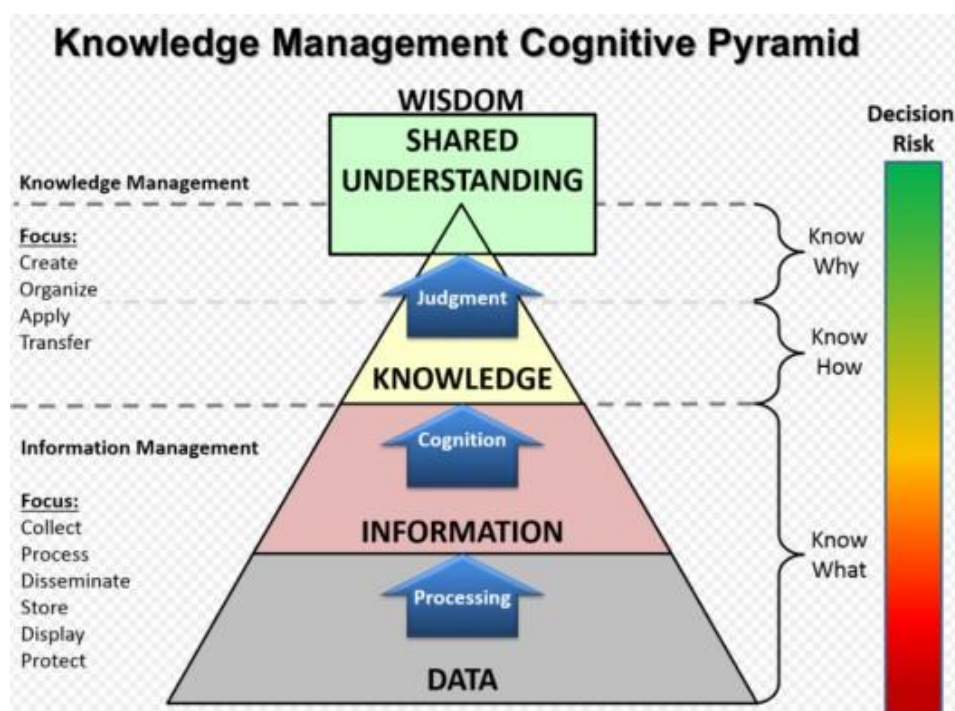


Figura 19 - Pirâmide DIKW [31]

O Grande desafio da indústria 4.0 é colecionar todos os dados considerados relevantes, processá-los, e transformando-os em conhecimento. Esta atividade nobre, requer sistemas tecnologicamente evoluídos, providos de capacidade de processamento em tempo real e algoritmos sofisticados. Alcançar o conhecimento e a sabedoria abre horizontes para além do imaginário, sendo um grande motor do nosso mundo e do caminho para a indústria do futuro.

2.7.2. CLOUD

As informações estão numa nuvem-compartilhada.

A interconexão de todos os produtos entre si fez com que a data (informação), ao longo de toda a cadeia de abastecimento fosse dificilmente armazenada apenas por uma empresa, pelo que, surgiu a ideia de usarem uma *Cloud*.

Ter gigabytes de espaço gratuito, segurança dos dados armazenados e sincronização automática de ficheiros são as principais vantagens dos serviços de *Cloud*. O que acontece é que ao invés de armazenar localmente, o que iria implicar um maior investimento em discos, por exemplo, guarda a informação em servidores podendo aceder-lhes desde um computador ou um *smartphone*. A virtualização veio para ficar e o facto de poder aceder desde qualquer local e sem ter os dados fisicamente, não significa que os dados tenham perdido essa forma. Uma das vantagens da *Cloud* é que propõe sincronização automática que, mesmo estando offline, alterando um documento, este é replicado na *Cloud* em segundos. Naqueles onde a sincronização não é efetuada automaticamente, chamamo-los de *hosting* pois os ficheiros são carregados no servidor pelo utilizador de forma manual (De referir que este tipo de *Cloud* é mais utilizado para armazenamento de “arquivo morto” pois são ficheiros de acesso mais esporádico).

Existem diversas *Clouds* com diversas diferenças (principalmente nas características de sincronização automática, segurança e armazenamento) tais como Google Drive, *DropBox*, OneDrive, Meo *Cloud*, Mega, Box, entre outras.

O conceito de *Cloud Computing* consiste na utilização de memória e da capacidade de armazenamento e cálculo de computadores e servidores compartilhados e interligados por meio da Internet.

A Virtualização é a criação de infraestruturas virtuais e uma forma de se executarem vários serviços ou programas (possibilita a execução de mais de um sistema operacional e aplicações diferentes em simultâneo na mesma máquina). É um exemplo vivo do mundo “digital” do futuro. É uma opção virtual que oferece resultados excelentes. A virtualização permite que se executem vários serviços a partir de um único servidor.

Diversos benefícios são um melhor aproveitamento da infraestrutura existente (aproveitar capacidade de processamento) e uma consequente diminuição do espaço físico e dos custos inerentes ao adquirir um equipamento (*Switches* e outros).

Os tipos mais comuns de virtualização são os seguintes:

- Virtualização de *hardware*: Permite que vários sistemas operativos estejam funcionais num só equipamento
- Virtualização de aplicativos
- Virtualização da apresentação: Acesso a partir de qualquer local a dados de diversos equipamentos

Daqui, retirou-se grande parte dos encargos atuais derivados de servidores físicos e infraestruturas de hospedagem, assim como se reduzem em muito as ações de manutenção gerando assim uma diminuição dos custos.

A diferença destes dois termos está no serviço oferecido. “Enquanto a *Cloud Computing* oferece facilidade para clientes e redução de custos com arquitetura de sistemas, a virtualização oferece facilidades ligadas à infraestrutura.”

Na figura 20 podemos observar esquematicamente a importância da *Cloud* na indústria 4.0.

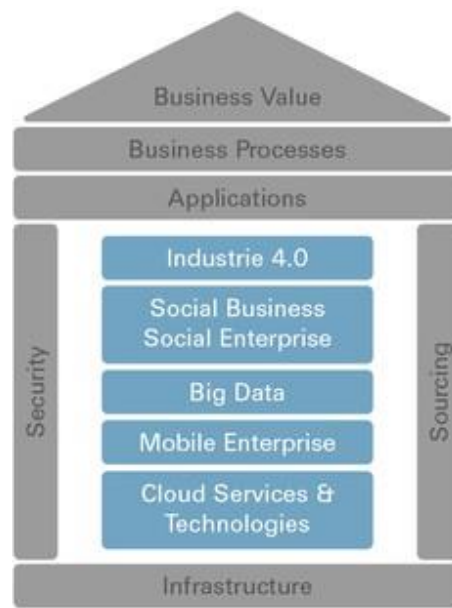


Figura 20 - Importância da *cloud* na indústria 4.0 [33]

Um dos principais problemas do uso de *Cloud* é a segurança relacionada com a partilha de ficheiros pessoais e confidenciais aquando por exemplo de uma sincronização [31].

2.7.3. *BIG DATA ANALYTICS*

O conceito de *Big Data Analytics* consiste em que todas as informações reunidas, de forma dinâmica para a tomada de decisões. Serve-se de um conjunto de informações (estudo de mercado, informações de mercado, correlações desconhecidas). O seu principal objetivo é o de ajudar as empresas a tomar as melhores decisões na hora adequada.

Existem múltiplas dimensões do *Big Data*, que podem ser classificados em sete Vs:

1. Volume: considera o montante de dados gerados e coletados
2. Velocidade: refere-se à velocidade de análise dos dados
3. Variedade: indica a diversidade dos tipos de dados coletados
4. Viscosidade: quantifica a resistência do fluxo dos dados
5. Variabilidade: quantifica a taxa de fluxo e tipos de dados
6. Veracidade: quantifica ruído e confiabilidade do conjunto de dados,

7. Volatilidade: indica a validade dos dados e por quanto tempo eles devem ser armazenados

O *Big Data* surgiu como alternativa para o processamento de dados complexos e visa capturar, armazenar, compartilhar, transferir e permitir a visualização de dados em diferentes ambientes e contextos.

Kitchin (2014) afirma que os dados são elementos chave para a sociedade contemporânea. O *Big Data* inclui informações a partir de uma multiplicidade de fontes, incluindo mídia social, smartphones, compartilhamento de dados, sensores e dispositivos que interagem diretamente com o consumidor (*wearable computers* – computadores vestíveis). O termo *Big Data* é capitalizado para distingui-lo de um termo meramente descritivo para uma grande quantidade de dados, a fim de enfatizar uma mudança na qualidade dos dados e não apenas a quantidade.

O uso do *Big Data* encontra obstáculos devido ao entrelaçamento dos dados nos sistemas administrativos, falta de padrões de governança, baixa confiabilidade e consequências do mau uso dos dados. Além disso, existem grandes incoerências das informações coletadas que, consequentemente, dificultam a análise posterior. Em muitos casos, os dados necessitam ser previamente transformados para que possam ser usados, em um processo financeiramente dispendioso.

2.7.4. BANCO DE DADOS EM *CLOUD* PARA TOMADA DE DECISÕES NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

As principais caracterizações da Indústria 4.0, isto é, a Manufatura e Processo Digital, é permitir a Customização em Massa e a Massificação da Personalização na linha de produção, e, para que isso seja possível, um novo modelo de tomada de decisões entra em cena, a conexão completa e total do Processo Produtivo, através da IoT Internet das Coisas e a IIoT Internet Industrial das Coisas, permitindo a aquisição de dados de uma forma nunca antes visto, com dados em alto Volume, alta Velocidade e grande Variedade, devendo neste caso, serem analisados através de um *Big Data*, entregando uma estrutura de Tomada de Decisões, em tempo real e sem intermediários, além de possibilitar ações autônomas no processo, sem interferência humana, através do aprendizado de máquina.

Por analogia, com os textos anteriores, explicamos que a construção das rodovias (redes), colocação de sinalização (Cibersegurança), interconexão de elementos e serviços (IoT), levarão estas informações a um grande sistema de análise de dados (*Big Data*), onde o resultado final, é apontar os melhores caminhos, dentro deste ecossistema produtivo.

Desta forma, vamos delimitar o nosso tema, dentro da visão da automação industrial, e escrever sobre:

- Como unir das informações da produção e cadeia logística para a tomada de decisões
- Como funcionam os sistemas de armazenagem e tomada de decisões em *Cloud*
- Qual o conceito de *Data mining* e Aprendizagem de Máquina (*Machine Learning*) [31]

Em relação aos cenários encontrados para utilização do *Big Data* na Indústria 4.0, podemos deparar com as seguintes situações comuns, que nos levam aos seguintes questionamentos:

- Como entender melhor minha produção e cadeia de fornecimento e melhorar o meu planeamento e controle produtivo
- Como entender o funcionamento da planta no espectro manutenção de modo a estruturar um sistema de prognóstico industrial
- Como utilizar recursos de *Machine Learning* para servir de apoio a tomada de decisões na operação

A evolução nas tomadas de decisões na indústria, mostram que no início, os primeiros controlos apenas apoiavam a tomada de decisões do operador, uma vez que ele é quem tinha o conhecimento do processo e atuava diretamente, todo o conhecimento era dele, com a evolução das redes, podemos agora gravar estes dados, analisá-los, e tomar decisões baseado em informações e análise local do processo, ainda é necessário o conhecimento do operador e sua experiência no processo, todavia, as indústrias estão vivendo uma grande questão que é a grande capacidade de aquisição e armazenamento de dados, que já existe, mas não sabem o que fazer com todas estas informações, agora, com a Indústria 4.0, o *Big Data* dá um novo formato a estas informações através das redes convergentes, o sistema aprende conforme o processo ocorre, não há o meio da informação e o resultado é a tomada de decisões em tempo real, com dados relacionados fora do processo local, visualizando toda a cadeia de produção e do negócio.

Quando pensamos na colocação destes dados no *Big Data*, muitos são os desafios, podemos eleger alguns que são comuns neste tipo de projeto e implantação, que nos fazem questionar:

- Como levar dados da unidade produtiva para um sistema de *Cloud Computing* e usar um *Big Data*
- Como criar modelos de *Big Data* para apoio em tomada de decisões, tanto em planeamento, como em Operação e Manutenção
- Como repensar a unidade produtiva a partir de dados e decisões que são aprendidas de acordo com as operações reais

O objetivo de toda esta tecnologia e da sua evolução é a tomada de decisões na indústria, mas, isso já é existente, mas como ocorre hoje de forma geral?

- A todo momento, tomamos decisões
- Os gestores têm a função de tomar decisões
- Os gestores intermediários, consolidam dados para outros gestores tomarem decisões
- Às vezes estas decisões são programadas a partir de ferramentas de gestão
- Outras vezes ocorrem de situações não previstas, baseado em dados existentes e expertise

A estrutura decisória de uma indústria hoje, segue uma regra muito parecida, nos setores há os procedimentos de produção e os líderes de processo, os supervisores de produção, consolidam dados destes setores, analisam de forma intermediária de acordo com o planeado e enviam informações em forma de desvios, ações ou tarefas para os seus gerentes, que por sua vez, entregam estas informações aos diretores, em forma de metas, resultados ou soluções de problemas encontrados durante a produção.

Entendamos agora como seria uma estrutura decisória da Indústria 4.0, para isso, vamos conceituar o *Big Data*, que nada mais é, do que um sistema de armazenamento de dados, estruturados ou não, que tenham (necessariamente os três), Volume, Velocidade e Variedade destas informações, que permitam, através de modelagem, entregar resultados, baseados em

estatística, mineração e aprendizado, de acordo com as ferramentas disponíveis na sua plataforma, interagindo com o homem ou com a máquina.

Desta forma, podemos entender uma nova forma de estrutura decisória na indústria, onde os setores, subsetores, departamentos e toda a cadeia produtiva, esteja conectada a um *Cloud* de serviços, isto é, na Internet, dentro de uma plataforma, onde este sistema grava todos os dados e, dentro deste *Big Data*, podemos fazer todas as ações intermediárias, análise de dados, cenários, projeções, planejamento, análise de qualidade, prognóstico, tudo que permita, e indique a direção, para a tomada de decisões, e, até mesmo, permitir as ações automáticas no processo, utilizando o aprendizado de máquina.

O *Big Data* então, é um serviço dentro da Indústria 4.0, compondo um cbersistema, onde é necessário a aquisição de todos os dados da indústria e serem levados a esta plataforma em *Cloud*, utilizar ferramentas de mineração de dados, aprendizado de máquinas e outras e criar um *framework* de resultados, com KPI, sistemas de decisões e M2M.

Na utilização do *Big Data* na indústria, como um novo modelo de tomada de decisões, são esperados diversos benefícios, entre eles, podemos destacar:

- Diminuição de operadores – o sistema tomará decisões – operações de melhor desempenho, segurança de planta e economia de energia
- Fim do planejamento reativo – o sistema que será virtualizado, realimentará o processo que sempre estará em tempo real dos indicadores para tomada de decisões (mineração)
- Todo o sistema será preditivo – manutenção, risco e aproveitamento (mineração) e atuará no processo com conhecimento (*Machine Learning*)

Mesmo com um sistema Indústria 4.0 implementado, algumas indústrias ainda tomam decisões baseadas em informações empíricas e de experiência operacional, porém é de grande importância entender o valor de um sistema de apoio a tomada de decisões, pois este sistema permitirá saber:

- Quando ocorre algo na planta diferente do esperado ou planejado

- Quando há uma circunstância na planta que me permite ter uma oportunidade de ultrapassar o meu objetivo planejado, elevando uma meta de produção ou redução de custos

O *Big Data* pode ser programado para diversas funções de análise de dados, na indústria podemos usá-lo para as principais funções:

- Tomada de decisões – as informações analisadas, darão um resultado baseado em cenários e do comportamento de toda a cadeia produtiva, apoiando diretamente os gestores da planta
- Aprendizado de máquina – as informações do processo são aprendidas, e levam a atuação diretamente nas ações de planta, por exemplo, através de M2M
- Prognóstico – as informações analisam todo o comportamento causal das variáveis, deixamos de tomar ações baseado em diagnóstico que emite o efeito, e o sistema faz uma análise de cenários e comportamentos [31]

Dentro de uma plataforma de *Big Data* há diversos serviços disponíveis para análise de dados para tomada de decisões, os princípios fundamentais são:

- Data mining – são modelos de análise de alto nível de abstração de dados, onde a informação não é conhecida, o sistema retorna por cenários e probabilidades, apoiando o tomador de decisões
- Quando é necessária uma informação, mas ela é desconhecida, alto nível de abstração
- São usadas ferramentas de estatística dentro do banco de dados, pela dinâmica da informação o sistema propõe um resultado
- Exemplo de uso, identificação de rosto, elementos na produção, probabilidade de decisões
- Aprendizado de Máquina – (Machine Learning) – são modelos que se baseiam em informações conhecidas ou processo definido, o sistema requisita e acumula

dados analisando o comportamento, com isso aprende dentro de uma curva de tempo, entregando resultados de forma automática e replicante

- Quando existe uma informação conhecida, isto é, sabe-se o comportamento do resultado
- O sistema é programado e grava as informações (acumula aprendizado), analisa o comportamento e vai criando resultados típicos
- A expertise é transferida para o sistema, ele aprende e melhora a tomada de decisões, pode replicar e tomar ações autônomas
- Exemplo, carros autônomos, controle de produção automático e flexível com rearranjo

O *Big Data* é um serviço, normalmente uma plataforma que permite, desde a conexão das informações com o mundo físico, até toda a modelagem, exemplos de serviços, IBM *BlueMix*, Google *Cloud Platform*, Microsoft *Azure*, Amazon *Web Service*, que tem as seguintes características:

- Paga-se pelo “consumo” do processamento
- Não tem infraestrutura local
- Inicia com dispositivos iniciais e escala a aplicação, crescendo de acordo com necessidade
- Não interfere na operação local, apenas acrescenta funções
- Tecnologia que agrega a decisão (humana ou de máquina)
- Pode ser criado na infraestrutura da própria empresa com seus próprios modelos

Uma arquitetura hoje, para automação industrial, que tenha aderência a Indústria 4.0, é a gravação de dados no *Big Data*, que permita o apoio a tomada de decisões para gestão da produção, gerenciamento de manutenção, gerenciamento de ativos, gerenciamento de alarmes, assistência técnica no consumidor final, gestão logística, entre outros.

Algumas dúvidas que ocorrem normalmente nas aplicações atuais, sobre a utilização da *Cloud* e *Big Data*, e quando se questiona a necessidade do seu uso:

- Enviar dados para *Cloud* facilita uso de ferramentas disponíveis para análise de dados e criação de indicadores para acesso remoto
- Caso os seus dados não estejam juntos (volume, velocidade e variedade) que caracteriza um *Big Data*, não é necessário adotar este modelo, um sistema em *Cloud* de armazenamento e modelagem atende o projeto
- Usar infraestrutura e plataformas de serviços (Azure, AWS, BlueMix) simplificam a aplicação e os seus custos são baseados em serviços, mas não impede que uma empresa “monte” seu próprio sistema de análise

Concluimos que o *Big Data* na Indústria 4.0 gera o principal impacto esperado com esta revolução, que é o tempo e o erro, mudando a forma de lidar com as tomadas de decisões, desde situações de exploração na produção, com vistas a melhorias, até o controle do processo via função de *Machine Learning* de forma autônoma [6].

2.8. CLOUD COMPUTING NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

2.8.1. ASPETOS GERAIS

A convergência da Tecnologia da Operação (TO), que envolve a automação industrial e a gestão da indústria, juntamente com a TI Tecnologia da Informação, permitem a interconexão de toda a Cadeia de Valor das unidades de negócio industrial, premissa da Indústria 4.0.

Com a evolução da automação, herdando as tecnologias da informática ao longo dos anos, vieram desafios que não existiam até à pouco tempo atrás, tanto em projetos de controle, quanto em manutenção de ativos, podemos listar alguns destes desafios nas indústrias:

- Alta demanda por ferramentas de produtividade
- Ampla utilização de redes (dados) em todos os níveis
- Aumento dos custos de aquisição e manutenção de sistemas

- Convergência da TO com TI unindo ativos e gestão
- Dificuldades de manter sistemas atualizados

A automação industrial, utilizando os primeiros sistemas supervisores SCADA (Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados), comunicavam em formato ponto a ponto com os controladores, chamados de arquitetura *Stand-Alone*, por vezes com comunicação serial e não haviam interligações entre as estações.

Com a incorporação de redes *Ethernet* nos controladores, pudemos fazer arranjos de PLC e SCADA com arquiteturas de dados compartilhados entre estações, montar sistemas em anéis e em redundância, além de poder trabalhar no conceito de cliente-servidor.

A convergência dos dados, trouxe para a automação, o atributo da gestão industrial, ferramentas de gestão de ativos, gestão de alarmes, gestão de malhas, controle avançado, PIMS, MES e MOM, entre outros, que compõem uma nova gama de apoio, tanto para o controle operacional, quanto para a manutenção, elevando a quantidade de dados e usuários numa planta industrial toda em rede.

Tudo isso gerou uma demanda por gestão dos sistemas de informação, que antes era atribuição exclusiva da TI, agora o departamento de TO, também passa a ter os mesmos problemas.

Do processamento individual, passamos por rede de dados, e compartilhamos informações na indústria, com toda esta demanda, tecnologias de virtualização, que vamos ver, permitiram escalar soluções a menores custos, também vieram soluções com *Cloud Computing*, objeto do nosso estudo, complementando com *Fog Computing* e *Edge Computing*, tudo visando soluções de processamento, compartilhamento e armazenamento de dados, um dos pilares da Indústria 4.0.

A automação quando era uma ilha, ou quando apenas compartilhava dados locais, a sua estrutura de custo se limitava ao controlador e uma licença de SCADA, com seus sensores simples e sinais discretos, com a incorporação de redes e ferramentas de *software*, cada vez mais sofisticadas, os custos de aquisição e gestão destas plataformas, deram um salto, passando a ser um problema de ativos de aquisição de alto custo e manutenção para o parque industrial.

A solução para esta expansão de custo e gestão de plataforma, vieram basicamente de duas formas, a Virtualização e o uso de *Cloud Computing*, com o principal objetivo de simplificar as soluções e reduzir custos.

A virtualização de plataformas é a técnica de criar e utilizar uma plataforma computacional (não física), de *hardware* ou *software*, onde se pode distribuir e gerir recursos de um único ponto, podendo ser local (*On-Premisse*) ou via *Cloud Computing*.

O *Cloud Computing* ou Computação na Nuvem, é um conceito computacional, que se refere a utilizar processamento, armazenamento, compartilhamento e gestão de dados, utilizando a Internet como meio, onde Infraestrutura, Plataforma e *Softwares* são adquiridos como serviços.

Características principais do *Cloud Computing*:

- *On-Demand* – Serviço sob Demanda – Só se paga pelo que se utiliza
- Paga pelo uso – somente se paga quando o serviço configurado inicializa
- *Self Service* – a contratação é toda dentro da plataforma escolhida, sem burocracia, só é necessário escolher os serviços
- Automatização – a infraestrutura é automatizada, com *scripts*, por interface, gestão completa à distância

Para que tudo isso possa ser aplicado na prática, já existem diversos provedores de serviços de *Cloud Computing*, onde podemos listar abaixo os principais, não são únicos, mas são os mais conhecidos:

Plataformas *Cloud Computing* de uso geral:

- Microsoft Azure
- IBM Blue Mix (Watson)
- Amazon Web Services AWS
- Google Cloud Platform

Plataformas *Cloud Computing* para automação Industrial:

- Siemens – *Mind Sphere*
- GE – *Predix*
- Rockwell – *Scio*

O conceito de uso de *Cloud Computing* é baseado em Serviço, isto é, não é adquirida uma licença, *softwares*, aplicativos, *hardware* ou algo do gênero, é usada uma solução, podendo ser desde uma infraestrutura, uma plataforma de desenvolvimento ou um serviço de aplicação, apenas pagando pelo uso, a abaixo os principais modelos:

- IaaS – *Infrastructure-as-a-Service* – Infraestrutura com Serviço – Máquinas virtuais, processamento, backup
- PaaS – *Platform-as-a-Service* – Plataforma como Serviço – Soluções, aplicativos de ferramentas, criação de soluções
- SaaS – *Software-as-a-Service* – *Software* como Serviço – Usuários, utilização da ferramenta de forma direta, um aplicativo

Para entender o grau de evolução a que a automação está a chegar, tudo o que se passa na TI é esperado que venhamos a ter na TO em pouco tempo, por exemplo, hoje numa automação convencional (*On-Premisse*) compra-se tudo para implantar, do *hardware* ao *software* e também, tenho que desenvolver tudo, além de fazer a gestão.

Com os modelos de Serviços, eu posso ter um novo formato, por exemplo, usuários que ao invés de comprar sensores, controladores e atuadores, alugam de algumas empresas com este perfil, sendo responsável por toda infraestrutura, na mesma linha podemos alugar também a plataforma, não precisando comprar *softwares* de desenvolvimento, podendo chegar a adquirir toda a automação, controle operacional e manutenção do sistema em forma de serviço.

O princípio básico de conexão de dados de planta no *Cloud* é a utilização de *Gateways*, como se comunicam por rede na unidade industrial, enviando para o provedor de serviços, utilizando a Internet como meio, este é o princípio de processamento como serviço.

Este conceito de aplicação, vem evoluindo em diversos tipos de equipamentos, máquinas e sistemas, por exemplo, a indústria que já tem o seu *Cloud*, já se comunica com uma máquina comprada e instalada no seu próprio parque industrial, um compressor, por exemplo, onde o fabricante monitora toda a manutenção e os dados na sua *Cloud* própria, podendo ser compartilhados na *Cloud* da empresa cliente, estes são subsistemas em *Cloud*, tudo interligado e compartilhando informações.

Podemos descrever abaixo as principais vantagens de uso do *Cloud Computing*:

- Não tem preocupação com infraestrutura – *hardware* e se for contratada a plataforma, não precisa de licenças de aplicativos
- O compartilhamento de serviços é fácil, já está na nuvem, podem-se trocar dados
- Gerenciamento de versões, *patch's*, atualizações, não é necessário
- Não existe a gestão do Ativo, a gestão é do consumo, melhor relação investimento x custo
- A manutenção é da responsabilidade do provedor de serviços

Nesta mesma linha, podemos descrever abaixo algumas desvantagens de uso do *Cloud Computing*:

- É imperativo – Infraestrutura de comunicação eficiente, link de internet de alta disponibilidade e de banda de dados de acordo com seu projeto
- Risco de desconexão de serviços e perda de processamento, controle operacional não deve ser em *Cloud*;
- Preocupação com a segurança de dados, invasão externa, roubo de dados ou *hackeamento* do sistema

Principais pontos a serem observados na aplicação de *Cloud Computing* na automação industrial:

- Sistemas de apoio à tomada de decisões podem ser utilizados em *Cloud*, por exemplo, gestão de ativos, gestão de alarmes, otimização de processos, entre outros
- Sistema de controle do processo, controle crítico e segurança, Scada, não se usa *Cloud*, o processamento é local, no máximo envia-se informações para análise e apoio à tomada de decisões

As plataformas de *Cloud Computing*, tem características técnicas que devem ser levadas em consideração em projetos e aplicações de soluções, como explanamos abaixo:

- Conectividade – equipamentos e dispositivos devem suportar uma conexão via internet, para enviar ou receber dados, de forma segura
- Latência – o tempo da troca de dados entre os clientes e o servidor, equipamentos e operações críticas, não podem permitir espera para processamento
- Processamento – capacidade de entregar o resultado, no tempo esperado, baseado na quantidade de entradas de dados
- Gravação – uso de um banco de dados, relacional, temporal ou não estruturado, para análise e tomada de decisões na indústria, esta função é a base para os sistemas de inteligência [8]

Levar dados da indústria (sensores, controladores e sistemas), para a *Cloud*, necessita de um arranjo complexo, com diversas interfaces, ocasionando latência de rede, limitação de processamento e gravação, além da dificuldade da interconexão de dispositivos.

Para ajudar a minimizar estas dificuldades técnicas, nas tecnologias que temos hoje, foram criados dois conceitos que trabalham com o *Cloud Computing*.

O *FOG Computing* – Computação em Névoa ou Neblina e *EDGE Computing* – Computação de Borda, são arquiteturas de rede em *CLOUD Computing*, que tem o objetivo de:

- Reduzir a quantidade de dados a enviar à *Cloud*
- Diminuir a latência da rede e da Internet

- Melhorar o tempo de processamento e resposta do sistema

EDGE *Computing* (Computação de Borda), tem o objetivo de processar os dados de análise mais próximo dos dispositivos de campo (controle).

Pode ser processado diretamente no sensor inteligente, no controlador que suporte esta função ou em um processador local, que permita conexão, processamento a gravação desta camada, somente envia para a *Cloud* o que for necessário.

FOG *Computing* (Computação em Névoa ou Neblina), tem o objetivo de processar os dados de análise mais próximo da camada *Cloud*, integrando processos de gestão e tomada de decisões locais.

Pode integrar a camada de EDGE, ou comunicar diretamente nos processadores (SCADA, MES) e gerar uma camada intermediária, antes de enviar para o *Cloud*.

Essas tecnologias podem trabalhar em arranjos separados, de acordo com a necessidade de cada projeto, onde a borda de processamento é mais necessária, lembrando que não é uma regra, são arranjos que ajudam a ganhar performance para uso do *Cloud Computing*.

Nem todos os dados e informações devem ir para o *Cloud Computing*.

Vejamos algumas considerações:

- Somente vão para a *Cloud* informações que devem ser relacionadas com outros dados fora da célula local
- Informações que devem ter backup e rastreamento
- Informações que rodam em aplicativos para a *Cloud*
- Quando parte do processamento é transferido para a *Cloud*

Enviar dados para o *Cloud Computing*, tem a premissa de comunicação externa como meio a Internet, remetendo a preocupações com a segurança de dados, exigindo projetos de Cibersegurança, abaixo relacionamos os principais pontos a serem observados:

- Treine pessoas

- Todas as redes devem ser segmentadas
- Utilizar DMZ (redes desmilitarizadas) para criar células de segurança
- Para conectar a célula na *Cloud*, utilize Firewall e limite as regras (mais simples é melhor)
- Somente use conexão bidirecional em casos de M2M
- Limite conexões físicas e espaços de acesso
- Monitore a rede com Sistemas de Cibersegurança

Quanto à implantação, há diversas premissas de projeto de infraestrutura e conectividade que devem ser levadas em consideração, abaixo listamos os principais pontos que devem ser observados:

- Justifique as questões que levam a enviar informações para *Cloud*
- Faça um projeto para eliminar infraestrutura e leva-la para o *Cloud*
- Use as ferramentas de Infraestrutura, Plataforma e Serviços de Automação (vincule soluções)
- Integre e faça convergência de dados, analise se é necessárias e possíveis aplicações EDGE e FOG
- Entenda o valor da Informação na *Cloud*, use ferramentas de Data Science
- Foque na segurança
- Escale as soluções e evolua os modelos de controle e decisões

A tecnologia do *Cloud Computing* é relativamente nova, todavia, a evolução continua e podemos apontar algumas tendências para o aprimoramento do uso destes recursos:

- Equipamentos de automação com canal direto para conexão em *Cloud* (TSN) *Time-Sensitive Networking* – dispensando uso de *Gateways*

- Equipamento de automação com OPC-UA incorporado, facilitando a criação de células de FOG ou EDGE para envio ao *Cloud* – interconexão e segurança simplificada
- Ferramentas de automação cada vez mais em *Cloud*, vinculando controle operacional com *Deep Learning*, Realidade Aumentada e Decisões Autônomas

Concluimos que *Cloud Computing* é a ponte para a Indústria 4.0, pois a interconexão da Cadeia de Valor da Indústria na Internet, permitirá escala, eliminação de erro e operação em tempo real das plantas produtivas, reduzindo custos de produtos e processos.

2.9. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

2.9.1. ASPETOS GERAIS

A primeira definição de Inteligência Artificial (*Machine Learning*) partiu de Samuel (1959), definindo como sendo o campo de estudo que proporciona aos computadores a habilidade de aprender sem ser explicitamente programado.

Posteriormente foi redefinida por *Mitchell* (1997) como sendo técnicas capazes de melhorar seu desempenho em uma dada tarefa utilizando-se experiências prévias. Ainda de acordo com *Mitchell* (1997), os algoritmos para *Machine Learning* podem ser divididos em 4 formas, a saber: supervisionado, não supervisionado, semisupervisionado e aprendizagem por reforço.

Definindo inteligência artificial (IA):

- Esta definição das tarefas envolvidas na aprendizagem de máquina é dada de forma fundamentalmente operacional, ao invés de cognitiva, seguindo a proposta de *Alan Turing* em seu artigo "Computadores e inteligência", em que a pergunta "As máquinas são capazes de pensar?" seja substituída pela pergunta "As máquinas são capazes de fazer o que (nós como entidades pensantes) podemos fazer?"
- Em 1959, Arthur Samuel definiu aprendizagem de máquina como o "campo de estudo que dá aos computadores a habilidade de aprender sem serem explicitamente programados"

Na aprendizagem supervisionada, os dados (inputs e outputs) são apresentados por meio de um modelo, fornecendo para cada input o output desejado, cujo objetivo principal é aprender

uma regra geral a fim de compreender os inputs e outputs. Já na aprendizagem não supervisionada, nenhum tipo de informação é dado ao algoritmo, deixando que o próprio algoritmo compreenda a estrutura dos dados. E, no algoritmo semi-supervisionado, é fornecido um conjunto de treinamentos com alguns outputs ausentes. A aprendizagem por reforço trata-se da interação com um ambiente dinâmico no qual é proposto um determinado objetivo, tendo como exemplo clássico os veículos autônomos.

Os algoritmos de aprendizagem podem ser divididos em preditivos (classificação e regressão) e descritivo (agrupamento, sumarização e associação). Os algoritmos são utilizados conforme o objetivo e o problema a ser resolvido. Como exemplo, é possível destacar as análises de séries temporais que utilizam os algoritmos com o objetivo de aprender uma função que mapeia um exemplo em valor real. Os exemplos de algoritmos para esta classe de problemas são: árvores de regressão, redes neurais artificiais, regressão linear e máquinas de vetores de suporte. Já para o objetivo de aprender uma função que associa descrição de um exemplo a uma classe, tem-se como exemplo as redes bayesianas, regressão logística, K-NN e outros. Na Figura 21 é possível visualizar a classe dos algoritmos [30].

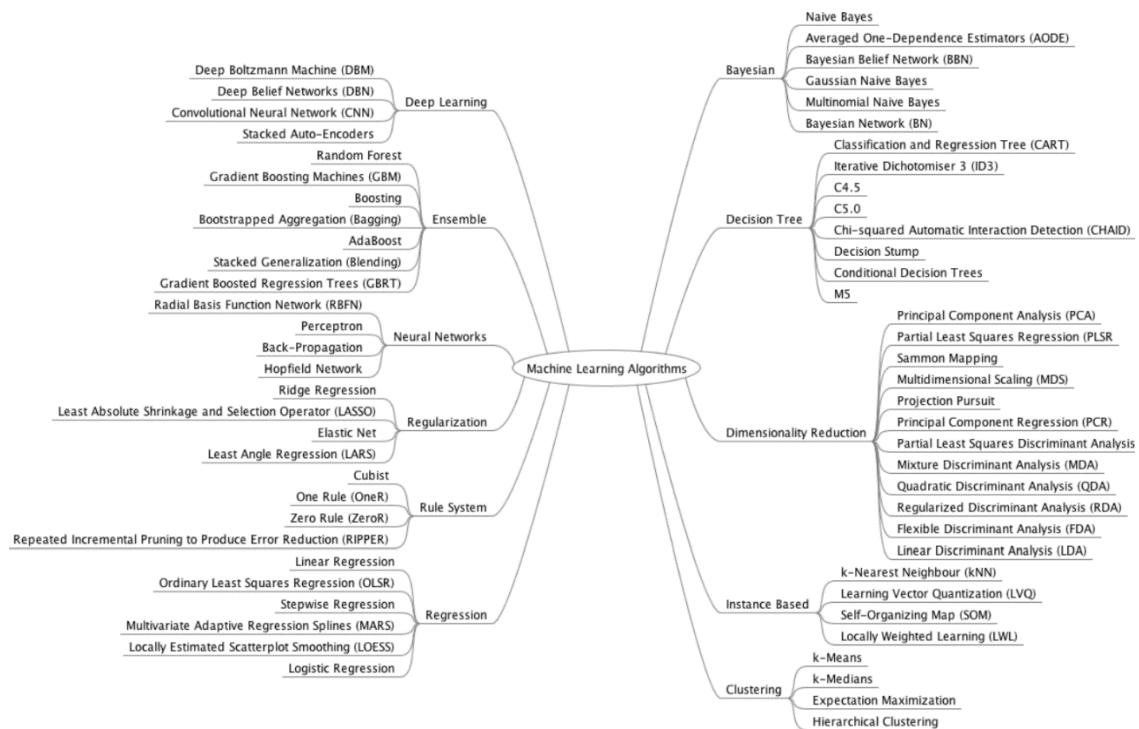


Figura 21 - Algoritmos para machine learning [Fonte: Fagbohun (2014)]

A Inteligência Artificial (IA) é amplamente usada em ferramentas para empresas. Sucesso compreensível especialmente devido às intensas divulgações em conferências de desenvolvedores realizadas por gigantes como a Microsoft e o Google. Mas não apenas por isso. A Inteligência Artificial mostra que pode superar a inteligência humana em alguns aspectos. É o que tem sido apresentado no caso de máquinas que vencem jogos contra humanos e até mesmo em carros conduzidos por robôs.

Embora em campos limitados, essas performances sobre-humanas são todas possíveis graças a décadas de pesquisas, que agora começam a deixar os laboratórios e tornam-se parte da realidade cotidiana.

Apesar de ainda oferecer desempenho inferior ao dos humanos, elas exigem muito menos poder do que um supercomputador para rodar. As empresas aproveitam as capacidades possibilitadas por essa tecnologia para melhorar o atendimento ao cliente, permitindo que haja interação com a assistente – por meio de reconhecimento de voz baseado em nuvem –, e evitando que ele precise ligar para o *call center* ou navegar pelo site, por exemplo.

2.9.2. APRENDIZAGEM BASEADA EM EXEMPLOS

Os maiores avanços de pesquisas em Inteligência Artificial nos últimos anos, e os mais aplicáveis no mundo corporativo, envolveram máquinas que aprendem com a experiência.

A aprendizagem da máquina é baseada na criação de redes neuronais – modelos computacionais que imitam a forma como as células nervosas transmitem informações. O cérebro humano contém cerca de 100 bilhões de neurônios, sendo cada um conectado a cerca de mil outros. Uma rede neural artificial modela uma coleção dessas células, cada uma com suas próprias entradas (dados de entrada) e saídas (resultados de cálculos simples). Quando a rede resolve corretamente um problema, um peso adicional é dado às saídas dos neurônios que previram corretamente a resposta e, assim, a rede aprende.

Esses avanços representam para as empresas novas formas de lidar com problemas de dados. No entanto, enquanto aprendemos com apenas alguns exemplos, no campo de *Deep Learning*, são necessários um bilhão de exemplos. Ou seja, as tecnologias de aprendizagem mecânica, como redes neurais profundas, precisam observar uma tarefa um bilhão de vezes para aprender a realizá-la melhor do que um ser humano.

Encontrar milhares de exemplos de algo não é, obviamente, uma tarefa fácil. Os desenvolvedores do AlphaGo – computador do Google que derrotou um campeão mundial no jogo chinês Go, que requer estratégia e intuição humana – usaram a internet para analisar registros de milhares de partidas de Go entre humanos e fornecer o treino inicial para a sua rede neural de 13 camadas. Como se tornou mais experiente, o AlphaGo já joga contra outras versões de si mesmo para gerar novos dados.

2.9.3. UTILIDADE DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA AS EMPRESAS

Blocos de construção baseados em Inteligência Artificial já estão a ser vendidos por empresas de tecnologia para uso em aplicativos e serviços corporativos. Até mesmo empresas menores podem se beneficiar da tecnologia para tarefas específicas.

Com a Inteligência Artificial, já é possível criar *chatbots* e serviços com informações específicas de alguns setores, possibilitando o ajuste para cada usuário. Algumas ofertas incluem ferramentas para converter fala em texto e compreender a sua intenção, detetar e corrigir erros ortográficos e traduzir áudio e texto. Outras oferecem API (Aplicações) de marcação de rosto e moderador de conteúdo automatizado, que pode aprovar ou bloquear texto, imagens e vídeos, encaminhando casos complexos para revisão de humanos.

Outros serviços baseados em Inteligência Artificial já estão em produção e prometem ainda mais facilidades.

A Microsoft já convida as empresas a testarem uma ferramenta de análise de imagem chamada *Emotion API*, que permite identificar emoções expressas em rostos registrados em fotos, conferindo raiva, desprezo, desgosto, medo, felicidade, tristeza e surpresa. Melhorias para as ferramentas de voz da empresa também estão previstas, permitindo ajustar o motor para regiões específicas ou ambientes e até mesmo para reconhecer o interlocutor. Outra ferramenta, denominada *QnA Maker*, promete basear-se em perguntas frequentes de um, para a criação de respostas para um *chatbot*.

Por outro lado, o Google revelou um teste beta privado de sua API *Cloud Vídeo Intelligence*, que permite aos usuários encontrar clipes de vídeo relevantes, procurando substantivos ou verbos que descrevam o conteúdo. A empresa estima uma maior procura por serviços com uma nova máquina e com a abertura do Laboratório de Soluções Avançadas de *Machine Learning*, em *Mountain View*, Califórnia, onde os clientes poderão trabalhar com

especialistas do Google para aplicar a aprendizagem de máquina a fim de corrigir seus próprios problemas.

A empresa também apresentou a plataforma *TensorFlow Lite* para telefones e um processador mais robusto para a execução de cargas de trabalho de aprendizagem de máquinas: a *Cloud TPU (Tensor Processing Unit)*.

Com essas versões para testes liberadas, as grandes empresas mostram que não há um monopólio sobre a pesquisa em Inteligência Artificial. Algumas das maiores empresas responsáveis por pesquisas em Inteligência Artificial mostram-se dispostas a publicar seus resultados e liberar grande parte deles sob licenças de código aberto. A Apple, conhecida por ser fechada, publicou seu primeiro trabalho de pesquisa no final do ano passado. No entanto, esses kits de ferramentas de aprendizagem de máquinas e serviços em nuvem, por melhor que sejam, ainda são redes neurais não treinadas, ainda não tão úteis para as empresas.

Por outro lado, enquanto há abertura quanto à divulgação de pesquisas, a concorrência por pessoal qualificado é enorme. Até mesmo o Facebook, que tem sua própria divisão de pesquisa, organiza treinamentos internos para conscientizar seus funcionários sobre a aprendizagem de máquinas. Esses passos que os gigantes de TI têm dado representam a união de inúmeras tecnologias que podem ser futuras ofertas revolucionárias para as empresas, embora seus pequenos efeitos já possam ser aproveitados.

2.9.4. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NAS INDÚSTRIAS

As indústrias foram as primeiras empresas a utilizar a inteligência artificial. As peças robóticas são usadas nas fábricas para montar peças diferentes e, em seguida, embalá-las sem precisar de ajuda manual. Desde as matérias-primas aos produtos finais expedidos, os robôs desempenham um papel iminente na maioria das fábricas.

No entanto, a inteligência artificial fará ainda mais modificações, de forma que produtos mais complicados, como automóveis e eletrônicos, não sejam apenas fabricados e montados com a ajuda de robôs, mas também criados e conferidos [8].

Sendo talvez, para já, a componente da indústria 4.0, menos implementada e desenvolvida, dada a sua enorme complexidade, a Inteligência Artificial, será a componente técnica

primordial, a levar a indústria 4.0 ao seu auge. Arrisco-me a dizer que quando esta esteja na sua total plenitude desenvolvida, assistiremos à quinta revolução industrial a Indústria 5.0.

2.10. CYBER-PHYSICAL SYSTEMS (CPS)

Cyber-Physical Systems (CPS) são sistemas que integram computação, redes de comunicação, computadores embutidos e processos físicos interagindo entre si e influenciando-se mutuamente. É o resultado da evolução tecnológica dos computadores, dos sensores, e das tecnologias de comunicação, que ao evoluírem no sentido de maior agilidade, capacidade de processamento e preços cada vez mais acessíveis tem permitido a sua conjugação de forma efetiva e em tempo-real.

Se consideramos as redes de comunicação apenas como um poderoso facilitador, o coração dos sistemas *Cyber-Physical* são os sistemas de computação embutidos (*Embedded Systems*). *Embedded Systems* são sistemas de processamento de informação incluídos em outros produtos ou equipamentos principais. As tarefas que até agora eram desempenhadas por computadores dedicados apenas à recolha de informação proveniente da automação tradicional, estão a ser transferidas para estes novos sistemas com dimensões e performance ajustada às novas necessidades. Os computadores, tal como os conhecemos, tendem a desaparecer criando espaço para um novo conceito de *Ubiquitous computing* (Computação omnipresente) [33].

Ubiquitous computing (or "ubicom") is a concept in software engineering and computer science where computing is made to appear anytime and everywhere. In contrast to desktop computing, ubiquitous computing can occur using any device, in any location, and in any format.

Alguns exemplos de CPS que fazem parte do nosso quotidiano: ABS; ESP; *Airbag*,

De uma forma genérica *Cyber-Physical Systems* = *Embedded Systems* + Ambiente físico

Tendo em atenção o uso generalizado e o impacto destes sistemas, é fundamental que estes sejam projetados desde a sua conceção, para que sejam robustos, tenham alta disponibilidade, sejam possíveis de se intervir em caso de falha, segurança para quem os opera e para os restantes elementos do ecossistema, não esquecendo a segurança informática necessária a qualquer dispositivo ligado a qualquer coisa.

2.11. MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM

Um dos pilares da Indústria 4.0 é a implementação de um *Manufacturing Execution System* (MES) que não é apenas um sistema de planificação como um ERP (sistema integrado de gestão). O MES tem tudo coordenado.

De facto, podemos referenciar diversos usos dele tais como:

- Produzir peças
- Ligar/Desligar máquinas
- Coordenação do inventário in e out linha de produção
- Troca de ordens de fabricação
- Movimentos de pessoal e contratação ou demissão
- Ajustar *stocks* comprando ou usando material
- Calendarizando intervenções de manutenção ou uso de máquinas

Na figura 22 vemos a pirâmide da automação, uma representação esquemática, representando os vários sistemas ordenadamente do mais simples para o mais complexo.

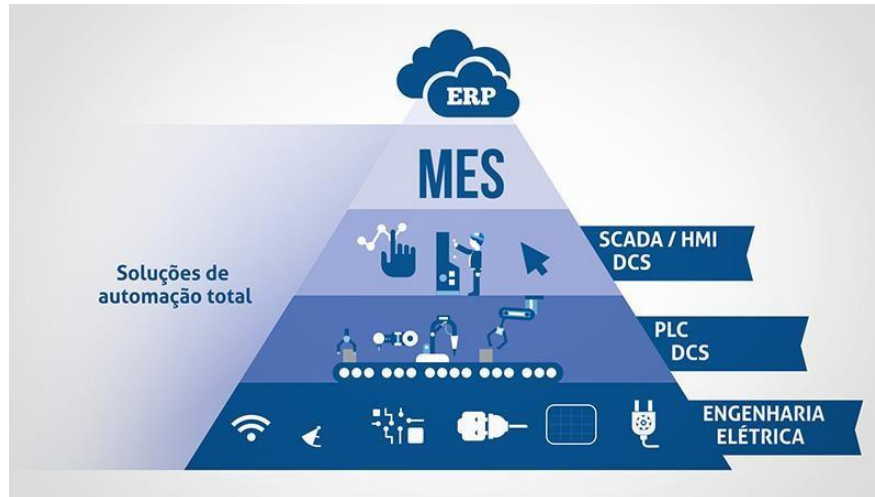


Figura 22 - Pirâmide da automação (Reditech, 2016) [33]

O MES é uma ferramenta feita à medida para o setor automóvel e outros, pois aporta imenso potencial na hora da planificação, para além de reduzir tempos de ciclo, o uso de papel e de responder a pedidos do cliente, por exemplo [33].

Na figura 23 podemos observar as funções do MES.

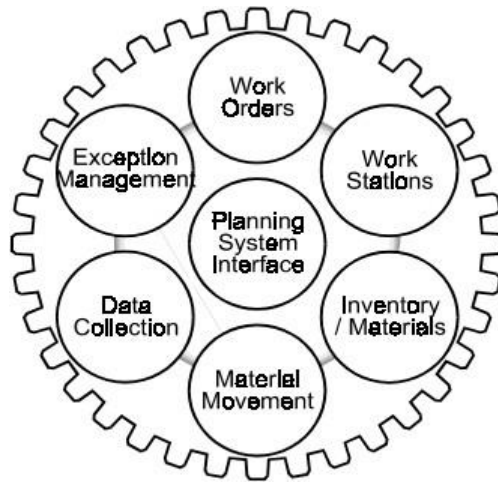


Figura 23 - Funções do *manufacturing execution system* (McClellan) [33]

As principais funcionalidades deste sistema são:

- Importação de dados do Sistema ERP tais como BOM (Bill of Material), *stocks*, ...
- Importação de pedidos de produção
- Emissão automática de instruções para entrega do correto material na linha de montagem correta, por exemplo
- Armazenamento de informações produtivas tais como tempo de operação, tempos de máquinas, *scrap*, ...
- Instruções para material de reposição
- Armazenamento e divulgação de dados de qualidade (não conformidades, instruções especiais derivadas de incidentes)
- Integração do ERP com o chão de fábrica
- Controlo estatístico do processo
- *Monitoring* da produção (paragens, ritmo produtivo, retrabalho, etc...)
- *OEE on time*

- Controlo de ocorrências e indicadores de manutenção (MTBF, MTTR) (PPI-*Multitask*, s.d.)

Destas funcionalidades, retiramos diversas vantagens tais como:

- Apoio a Lean Manufacturing
- Apoio à melhoria continua
- Redução de lead times, setup times, planning time
- Melhoria de qualidade
- Redução de *stocks*
- Transparência total dos dados
- Melhoria no serviço ao cliente
- Melhoria na produtividade dos colaboradores

Na figura 24 verificamos esquematicamente a relação de sustentabilidade na indústria 4.0.

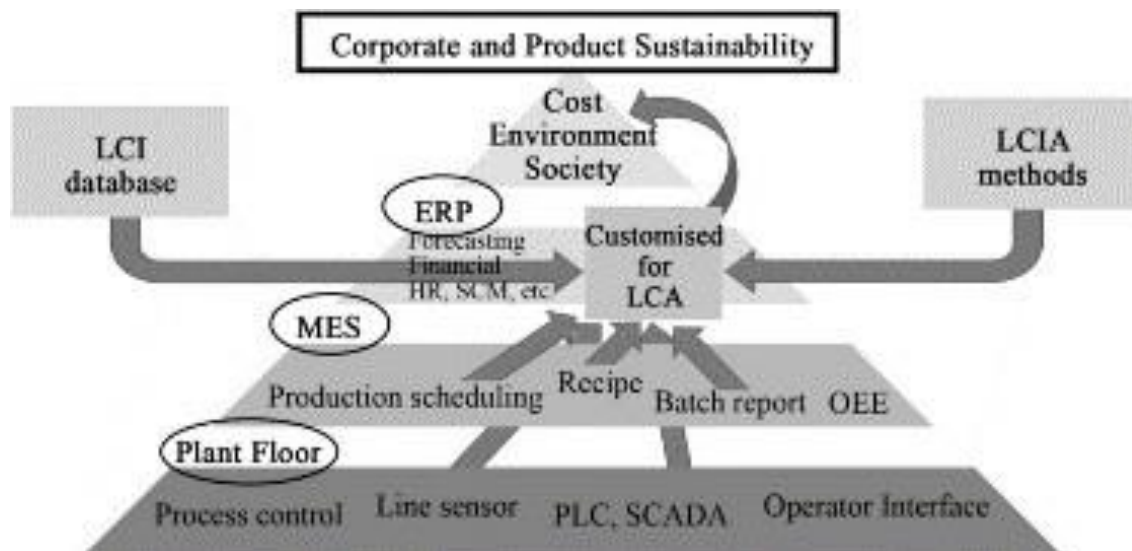


Figura 24 - Relação de sustentabilidade na indústria 4.0 [33]

2.11.1. FUNÇÕES PRINCIPAIS

As funções abaixo apresentadas estão ordenadas por ordem decrescente, ou seja, em primeiro lugar, temos o fluxo de informação do produto para depois termos o planeamento produtivo e finalmente a conclusão do produto após terminar a ordem.

1 - Fluxo produtivo orientado para o design

Relativamente a este tema, o importante aqui é que toda a informação técnica dos produtos assim como os fluxos de produção esteja presente. Nesta função do M.E.S o importante é que o que deve ser produzido e como tem de estar claramente definido. A máquina onde se vai realizar o produto, o local onde se vai produzir, quem o vai realizar e com que recursos materiais também tem de ser claramente definido. Finalmente, a informação relativa a ordem, à produção (parâmetros de controlo de comprovação), ao equipamento utilizado para produzir assim como a performance terão de ser registados. O *Bill of Process* ou plano de trabalho é o principal instrumento da produção, este descreve o processo produtivo de um produto como uma sequência de atividades/processos com todos os recursos de que necessita.

2 - Fluxo produtivo orientado para o planeamento

No que diz respeito a esta função, aqui, o importante é o planeamento produtivo que se traduz sob a forma de ordens produtivas. Atualmente, na maioria das empresas do mundo, usa-se um ERP para desempenhar esta função. Graças ao M.E.S é possível incluir diversos clientes na mesma ordem produtiva. A função principal deste é colocar as ordens transferidas a partir do E.R.P numa ordem perfeita. Aqui a aplicação do conceito *Heijunka* torna-se efetivamente bastante usual uma vez que o desejado aqui é a harmonização do fluxo produtivo balanceando a produção a nível quantitativo.

A tarefa principal do M.E.S é de, a partir de uma infinita quantidade de ordens, otimizá-la usando algoritmos. Aqui os algoritmos têm em conta, numa primeira fase, as datas de entrega concordadas com o cliente e a qualidade dos produtos e, num segundo tempo, a redução de custos (reduzindo os custos de *setup*, recursos, custos de inventário) produtivos. Resumidamente, vários são os fatores que influenciam a decisão de planeamento “automático” tais como:

- Data de entrega
- Qualidade
- Tempos de transporte
- Tempos de espera
- Disponibilidade de espaços tais como laboratórios de metrologia

O resultado do planeamento é então mostrado como um diagrama de *Gantt*. Os algoritmos do M.E.S tem a capacidade de otimizar custos de *setup*, custos relativos a produção, custos com pessoal, a capacidade dos equipamentos.

Concluindo, um M.E.S tem um sistema que permite que se evitem colisões entre “prioridades” tais como data de entrega ou produção em primeiro lugar para reduzir tempos de espera.

3 - Processamento de ordens

Finalmente, no que toca a esta função, a execução das ordens planeadas previamente e a aquisição de dados relativos a produção é o principal aspeto diferenciador das outras funções. As ordens, como é natural, seguem um *tracking* que é unitário por cada produto produzido e que identifica todos os materiais usados no produto final. Aqui, o essencial é que, os resultados da produção são arquivados e podem ser visualizados através de um clique pelo diretor de produção, por exemplo.

3. ESTUDO DE CASO – ADAPTAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE PRODUÇÃO DE COGUMELOS À INDÚSTRIA 4.0

3.1. A PRODUÇÃO DE COGUMELOS EM TRONCO

3.1.1. ASPETOS GERAIS

Cogumelo é o nome comum dado às frutificações de alguns fungos dos filos Basidiomycota e Ascomycota, pertencentes ao Reino Fungi¹.

Os cogumelos possuem corpo frutífero composto por uma base. São seres vivos que contêm uma ampla variedade de formas, cores e tamanhos e são organismos que fazem reprodução sexuada pela junção de hifas [20].

A figura 25 mostra um exemplo de cogumelos Shitake, que são o produto final da indústria em estudo.

¹ O reino **Fungi** é um grupo de organismos eucariotas, que inclui micro-organismos tais como as leveduras, os bolores, bem como os mais familiares cogumelos. (Wikipédia, a enciclopédia livre)



Figura 25 - Exemplo de um cogumelo shiitake

A maioria dos integrantes do reino Fungi, assim como as bactérias, obtém alimento decompondo a matéria orgânica do corpo de organismos mortos, atuando como saprófagos, conhecidos popularmente como decompositores. Todos os fungos, sem exceção, são heterótrofos por absorção. A nutrição ocorre por quebra de enzimas complexas do fungo, para ajudar na absorção de nutrientes necessários para sua atividade metabólica. Eles obtêm alimento de outros seres vivos, com os quais se associam. Assim, os fungos podem ser decompositores, parasitas ou mutualísticos. No caso do cogumelo, ele é decompositor, pois geralmente decompõe árvores e troncos.

3.1.2. IMPORTÂNCIA COMERCIAL, MEDICINAL E RELIGIOSA DO COGUMELO

Muitos cogumelos são comestíveis, alguns, como *Agaricus sylvaticus*, o *Agaricus blazei* e *Pleurotus*, entre outros, são largamente cultivados com aplicação de cuidados monitorados. Outros, no entanto, são extremamente tóxicos, como por exemplo a *Amanita muscaria*, podendo, em alguns casos, causar morte.

Há ainda certos cogumelos com propriedades medicinais a exemplo do *Penicillium* do qual se conheceu o antibiótico penicilina (Descoberto por Alexander Fleming, foi primeiro antibiótico já inventado), também existe a ciclosporina e a ergotamina. Além disso, outros possuem propriedades psicoativas tais como alguns enteógenos utilizados tradicionalmente por diversos povos ao redor do mundo. O mais famoso destes é o *Psilocybe cubensis*, no entanto outras espécies de *Psilocybe* e mais raramente em outros gêneros, como *Campanella*, têm as mesmas propriedades, devido à presença de psilocina e psilocibina. *Psilocybe* é muito

utilizado em rituais no sul do México. Outra espécie utilizada em rituais, desta vez na Sibéria é o *Amanita muscaria*.

3.1.3. BENEFÍCIOS DOS COGUMELOS SHIITAKE

Estudos recentes realçam significativamente os benefícios para a saúde dos cogumelos Shiitake em particular a sua capacidade de reduzir os níveis de colesterol no sangue pela ação da eritadenina.

Uma pressão arterial elevada força o coração a um esforço maior o que poder induzir situações de ataque vascular cerebral. O consumo regular de cogumelos Shiitake pode impedir o aumento da pressão arterial.

O cogumelo Shiitake contem uma substância ativa a Lentinula que não só ajuda no reforço do sistema imunitário como também promove a atividade anticancerígena.

Vários estudos realizados no Japão mostraram diversos efeitos benéficos do consumo de cogumelos Shiitake que vão desde a redução e abrandamento do crescimento de tumores como até à regressão e mesmo um aumento da atividade no combate à proliferação do tumor. O seu uso está muito ligado à ajuda no combate ao cancro gástrico [23].

3.1.4. ESPÉCIES DE COGUMELOS COMESTÍVEIS/MEDICINAIS CULTIVÁVEIS EM TRONCOS DE MADEIRA

As principais espécies de cogumelos comestíveis/medicinais cultiváveis em troncos de madeira são:

- *Shiitake (Lentinula edodes)*
- Ostra cinzento (*Pleurotus ostreatus*)
- Ostra rosa (*Pleurotus salmoneostramineus*)
- Ostra amarelo (*Pleurotus cornucopiae* var. *citrinopileatus*)
- Ostra marrom (*Pleurotus pulmonarius*)
- Do Cardo (*Pleurotus eryngii*)
- Do Choupo (*Agrocybe aegerita*)
- *Enokitake (Flammulina velutipes)*
- *Nameko (Pholiota nameko)*
- Juba de Leão (*Hericium erinaceus*)

- *Reishi (Ganoderma lucidum)*
- Orelha de Judas (*Auricularia auricula-judae*)
- *Maitake (Grifola frondosa)*

3.1.5. COMO CULTIVAR COGUMELOS EM TRONCOS

Para enquadrar e permitir conhecer a atividade industrial de produção de cogumelos, serão descritos os princípios básicos para a produção de cogumelos em tronco.

3.1.5.1. ESCOLHA DAS SEMENTES

A boa qualidade do micélio ou sementes de cogumelos comestíveis e/ou medicinais em tronco de madeira é fundamental para que seja possível realizar uma boa produção de cogumelos em tronco.

Existem três métodos principais de inocular as sementes no tronco:

- Inoculação das sementes em grão
- Inoculação das sementes em cavilha
- Inoculação das sementes em serradura

A figura 26 mostra o micélio em grão.



Figura 26 - Micélio em grão

A figura 27 mostra o micélio em cavilha.



Figura 27 - Micélio em cavilhas

3.1.5.2. SELEÇÃO E CORTE DOS TRONCOS

Para além da qualidade das sementes, outro fator determinante na produção de cogumelos é o tipo de madeira utilizada e o corte efetuado na mesma.

A figura 28 mostra um exemplo de troncos empilhados e cortados, já inoculados com as sementes de cogumelos.



Figura 28 - Troncos cortados empilhados para produção

Os troncos de madeira podem ser provenientes de espécies como carvalho (*Quercus* spp.); faia (*Fagus sylvatica*); sobreiro (*Quercus suber*); salgueiro (*Salix* spp.); castanheiro (*Castanea* spp.); eucalipto (*Eucalyptus* spp.) ou choupo (*Populus* spp.).

Não é recomendado o recurso a madeira de árvores de espécies resinosas (como o pinheiro), nem de árvores de fruto.

É importante que os troncos – sem ferimentos – sejam cortados, de preferência, quando as árvores não têm folhas.

Os troncos devem depois permanecer em repouso, num local limpo, sombreado e sem contacto com o solo [22].

3.1.5.3. FURAÇÃO

A furação deve ser realizada com um berbequim, devendo os furos ser distribuídos de forma regular ao longo do tronco.

A furação deve ser feita num local coberto e limpo, para evitar a desidratação dos troncos e possíveis contaminações durante o processo.

3.1.5.4. INOCULAÇÃO

A inoculação consiste na introdução do micélio (sementes de cogumelo) no furo realizado no tronco.

A altura do ano ideal para ser realizada a inoculação é entre outubro e abril. O preenchimento dos furos com as cavilhas inoculadas (micélio ou semente de cogumelo) deve ser feito imediatamente após a furação.

Para evitar contaminações, as mãos dos operadores e todos os utensílios que entrem em contacto com o micélio devem estar desinfetadas.

3.1.5.5. INCUBAÇÃO

A incubação consiste no período de tempo em que o micélio (cogumelo) se esta a desenvolver e alimentar dentro do tronco. O fungo (cogumelo) alimenta-se do tronco, decompondo-o, tornando a madeira morta cada vez mais oca.

Os troncos inoculados devem ser colocados dentro de sacos de plástico furados. O local escolhido deve ser interior, protegido, escuro e com temperaturas entre os 20 °C e os 25 °C. Se feito no exterior, o processo de incubação poderá ser mais lento, consoante as condições climatéricas.

Dependendo da variedade, o tempo de incubação pode variar entre três a seis meses (cogumelos ostra) e entre seis a 12 meses para as restantes variedades. A incubação termina quando o micélio colonizar todo o tronco.

3.1.5.6. INDUÇÃO DE FRUTIFICAÇÃO

Terminada a incubação, os troncos devem ser retirados dos sacos e submetidos a um choque térmico (troncos mergulhados em água fria), durante aproximadamente 24 horas. Depois deverá proceder-se ao choque físico (levantar o tronco na vertical e soltá-lo, deixando-o bater no chão livremente).

Nesta altura, os troncos devem ser colocados, na vertical, num local húmido, sombreado e protegido contra insetos, lesmas e caracóis. Três dias após os choques térmico e físico começam a formar-se os primórdios dos cogumelos ou pequenas «cabecinhas brancas».

3.1.5.7. COLHEITA

A colheita deve acontecer quando o cogumelo apresenta o «chapéu» aberto entre 50% a 80% do seu desenvolvimento.

Os cogumelos colhidos, devem então ser armazenados no frigorífico.

3.1.5.8. PÓS-COLHEITA

Após a colheita, os troncos não necessitam de ser novamente inoculados, devem repousar nas mesmas condições de incubação durante um período de um a três meses e findo esse período deve ser repetida a indução de frutificação e a colheita. Estes ciclos podem ser repetidos até à detioração total dos troncos ou esgotamento da produção. Os troncos podem produzir cogumelos frescos durante dois a quatro anos.

Os resíduos de madeira dos troncos utilizados no cultivo de cogumelos podem ser aproveitados para produzir composto, a usar em agricultura biológica [24].

3.1.5.9. ESCOLHA DAS ESTIRPES DE COGUMELOS

Na escolha das estirpes, um dos aspetos mais comuns a ter em conta são a gama de temperaturas às quais os cogumelos frutificam (aparecem). E por isso pode ser benéfico escolher pelo menos 2 estirpes de forma a que os cogumelos surjam com mais facilidade durante os meses mais quentes e outra que produza durante os meses mais frios. Esta questão faz sentido de forma a que o produtor consiga produzir continuamente, no entanto os cogumelos shiitake não “gostam” de ambientes extremos e por isso mesmo, escolhendo as estirpes para meses quentes ou frios, é difícil produzir com temperaturas demasiado baixas ou altas. De qualquer das formas a maioria das estirpes frutificam entre 10°C a 30°C e muitas vezes mesmo escolhendo estirpes supostamente indicadas para temperaturas mais altas ou baixas, os resultados podem não ser tão evidentes como esperado.

3.1.5.10. VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS VÁRIOS TIPOS DE INÓCULO

Para a escolha do tipo de micélio a usar na produção de cogumelos em tronco, existem três opções principais: micélio em cavilhas, em grão e em serradura (ou serrim).

A figura 29 mostra um exemplo desses três tipos de micélio.



Figura 29 - Tipos de micélio [24]

Em termos de eficiência de colonização de cada uma destas opções, caso se utilizem quantidades e distribuição nos troncos equivalentes, não existem diferenças significativas entre eles.

Considerando o preço por Kg de cada um dos tipos de inóculo, a opção mais onerosa é sem dúvida o micélio em cavilhas, pois o método de produção e o próprio substrato tem um custo mais elevado.

Contudo mesmo assim a utilização do micélio em cavilhas é uma das opções mais escolhidas, isso ocorre porque o micélio em cavilhas tem como principal vantagem ser o único tipo de inóculo que não necessita de colocação de qualquer tipo de selante no local de inoculação, o que facilita o processo, permite direta e indiretamente baixar os custos de inoculação e não produz resíduos de inoculação como por exemplo as tampas poliestireno expandido. Para além disso, também não necessita de nenhuma ferramenta para aplicar além de um simples martelo ou maço. Como vantagens adicionais, é o tipo de inóculo mais resistente à desidratação e ao ataque de pragas. Permite efetuar furos mais finos e profundos na madeira, auxiliando o fungo a atravessar maior número de anéis de crescimento (as brocas utilizadas para os outros dois tipos de inóculos têm maior diâmetro e consequentemente não conseguem perfurar tão fundo). Caso não se utilize logo, este tipo de inóculo é o que tem o tempo de conservação mais longo.

No entanto também existem vantagens ou casos em que é benéfica a utilização dos outros dois tipos de micélio.

No caso de fornecedores de madeira já inoculada, pode tornar-se mais rápido e económico a inoculação com auxílio de máquinas automáticas importadas do Japão que são alimentadas com serradura e inserem automaticamente um selante. Em alguns casos, também há produtores que preferem utilizar o micélio em grão ou em serradura utilizando inoculadores manuais e selagem manual, no entanto é possível que não estejam a ser completamente ponderadas as várias vantagens e desvantagens.

Alguns artigos/textos disponíveis sugerem que a inoculação pode ser mais rápida utilizando inóculos mais ricos, como o caso do micélio em grão ou em serradura. No entanto as comparações apresentam erros, pois ao comparar os dois métodos, a quantidade e distribuição de inóculo entre um método e outro não são equivalentes.

Assim para a maioria dos produtores profissionais que inoculam apenas até cerca de 500 toneladas de madeira por ano, a opção mais vantajosa normalmente é a utilização de cavilhas. Os grandes produtores ou fornecedores de madeira inoculada, que inoculam muitas centenas ou milhares de toneladas de madeira por ano pode ser economicamente mais

vantajoso a utilização dos outros tipos de inóculo utilizando máquinas automáticas. Contudo existe sempre o problema ecológico dos selantes e a profundidade dos furos o que se pode refletir na produtividade.

3.1.5.11. DEZ MITOS SOBRE A PRODUÇÃO DE COGUMELOS SHIITAKE EM TRONCOS

1º "A selagem dos troncos é obrigatória"

A maioria dos produtores acredita que tem de colocar um selante (por exemplo cera, ou películas) sobre os locais de inoculação nos troncos. No entanto isso só é necessário quando se utilizam inóculos suscetíveis à secura ou a ataque de animais, como por exemplo a inoculação com sementes ou serradura. No caso de se utilizar inóculo em cavilhas, a selagem é completamente desnecessária e contra produtiva, pois contribui para o aumento de contaminações no local, para além de ser extremamente trabalhosa e onerosa.

2º "Os locais húmidos são ideais para a produção de shiitake em troncos."

Embora todos os fungos se desenvolvam bem em ambientes húmidos, alguns deles desenvolvem-se melhor do que outros à medida que a humidade aumenta. No caso das produções de shiitake em troncos, situações de humidade exagerada contribuem para o desenvolvimento descontrolado de fungos prejudiciais. Assim para uma boa parte do ciclo de produção a humidade relativa do ar deve ser sempre moderada. Evitar também de cobrir pilhas de troncos com plástico ou películas. A falta de arejamento proporcionará o desenvolvimento mais rápido dos fungos contaminantes.

3º "Os cogumelos gostam de temperaturas frescas, por isso quanto mais frio o local melhor."

Embora no Verão os cogumelos sejam pouco abundantes devido ao excesso de calor e secura em Portugal continental e a maioria das vezes as pessoas só observam cogumelos quando chegam os dias frescos de Outono, na produção intensiva de shiitake é bem diferente. O micélio do shiitake cresce a maior velocidade entre os 20°C e 30°C, por isso se o produtor quiser uma colonização rápida dos troncos terá de manter as temperaturas dentro do local de produção dentro desses valores. Só pontualmente é que é vantajoso ter temperaturas inferiores a 20°C, nomeadamente no momento em que os cogumelos aparecem (fase da frutificação), pois abaixo de 20°C os cogumelos têm melhor qualidade. O frio é

extremamente prejudicial pois auxilia o aparecimento de contaminações e impede em muitos casos que os cogumelos apareçam durante o Inverno. Mas em todas as outras épocas do ano é sempre possível ter cogumelos. Ainda assim convém recordar que a temperatura da madeira não deve ultrapassar os 35°C, sob pena de dar-se a morte do fungo.

4º "A melhor altura do ano para inocular é no Outono"

Este é um dos maiores mitos para a realidade de Portugal continental, muitos produtores acreditam que têm de inocular os troncos no Outono/Inverno, porque é assim que se faz no Japão. No entanto o clima é diferente e as madeiras são de outras espécies de árvores. A principal diferença é que em Portugal continental o Inverno é húmido e chuvoso enquanto no Japão é frio e seco, o que significa que no nosso país é muito difícil efetuar o corte da madeira durante o Inverno. Como o nosso clima é húmido durante a maior parte do ano à exceção do Verão, significa que cortando a madeira no Inverno expomos logo a madeira a condições favoráveis ao desenvolvimento de contaminações com fungos. Em contrapartida, o desenvolvimento do shiitake é prejudicado pelas baixas temperaturas típicas do Inverno.

5º "O sabor dos cogumelos é influenciado pelo tipo de madeira."

Difícilmente o sabor dos cogumelos é alterado pelo substrato, a não ser que os cogumelos sejam comercializados misturados com o substrato. Caso os cogumelos sejam produzidos nas mesmas condições, sejam da mesma estirpe e se retire o resto da casca dos troncos o seu sabor é igual. No caso do shiitake o que faz alterar dramaticamente o seu sabor está relacionado com a combinação humidade do ar e temperatura no local de frutificação, pois é sabido que um processo de desidratação leva à formação do monofosfato de guanosina que é o composto responsável pelo sabor único do shiitake, que pode ser mais ou menos intenso. Contudo, outras propriedades como o tamanho, densidade e aspeto dos cogumelos, podem variar em função das madeiras utilizadas.

6º "Regar os cogumelos para não secarem"

Uma regra de ouro em todas as produções de cogumelos, é que os cogumelos não podem receber água sobre os chapéus. Se isso acontecer, os cogumelos irão deteriorar-se muito rapidamente. Embora precisem de humidades altas durante a fase de frutificação, trata-se da humidade relativa do ar, que pode ser fornecida de várias formas, entre elas através de

brumizadores ou nebulizadores de gotas extremamente pequenas que não chegam a molhar superfícies.

7º "Deixar crescer bem os chapéus para ter cogumelos grandes"

É um erro muito comum os produtores deixarem abrir muito o chapéu dos cogumelos. Deixar abrir os chapéus irá trazer uma série de problemas, dos quais se destacam: o tempo de prateleira diminui, secam mais depressa, atraem vários insetos, libertam esporos o que pode ser prejudicial, perdem apresentação e podem ser atacados por outros fungos.

8º "A madeira depois de cortada não deve ser logo inoculada."

Pelo contrário, assim que os troncos estão cortados à medida, devem ser inoculados o quanto antes. Não esquecer que a produção em troncos é um método que envolve favorecer as condições para o shiitake e desfavorecer as dos contaminantes. Pode dizer-se que se trata de uma corrida. Porquê dar vantagem aos contaminantes? Em situações muito excecionais pode ser vantajoso deixar a árvore abatida durante algum tempo antes de cortar os troncos a metro. Além disso quanto mais seca estiver a madeira mais difícil será o trabalho de inoculação.

9º "Não devo arejar muito os troncos para não secar."

O arejamento dos troncos é o segredo para evitar problemas. O que não quer dizer que não seja necessário controlar e manter o teor de água dos troncos.

10º "A produção de cogumelos não dá trabalho nenhum e é altamente rentável."

A produção de cogumelos como qualquer outra atividade agroindustrial é uma atividade que requer muita dedicação, envolvimento e capacidade de resolução de problemas. Como em qualquer sector de atividade, os produtos não se vendem sem qualquer esforço comercial, os empresários têm de ser pró-ativos em diferentes vertentes. Ainda assim, é uma produção com várias vantagens, como por exemplo ao contrário de outros produtos hortofrutícolas, é possível produzir o ano inteiro [29].

3.1.5.12. PRINCIPAIS EMPRESAS PRODUTORAS DE COGUMELOS EM PORTUGAL

A atividade de produção de cogumelos em Portugal encontra-se já bastante desenvolvida, existindo no mercado português uma série de empresas especializadas na produção de cogumelo em tronco em grande escala.

A figura 30 dá exemplos de algumas das principais empresas do sector.



Figura 30 - Principais fabricantes de cogumelos em Portugal [24]

3.2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA LITORAL COGUMELOS

A empresa Litoral Cogumelos é uma empresa criada em 2015, com suporte num projeto aprovado com fundos comunitários.

A empresa situa-se na região de Lavra, Matosinhos e tem uma área coberta aproximada de 1.575m² na estufa 1 e de 1.920m² na estufa 2.

A empresa está neste momento numa fase inicial e de expansão, onde ainda está a ser construída a segunda estufa.

A estufa 1 (primeira) está neste momento a trabalhar em pleno, é nesta estufa onde temos implementados os vários processos da indústria: armazenamento de troncos por inocular,

processo de furação e inoculação, processo de empilhamento e humidificação para colheita, colheita de cogumelos e armazenagem frigorífica de produto acabado.

A empresa patenteou também um método pioneiro de armazenagem de cogumelos em tronco.

As figuras 31 e 32 mostram uma serie de troncos na fase de frutificação, empilhados neste método inovador.



Figura 31 - Método de armazenagem vertical – Vista de pormenor



Figura 32 - Método de armazenagem vertical – Vista geral

Através deste método conseguem-se quatro objetivos principais:

1. O tronco fica na vertical, que é o ângulo ótimo para a produção de cogumelos
2. O espaço em armazém é otimizado, dado que se conseguem colocar dois troncos na vertical, um em cima do outro, ocupando metade do chão de fábrica das soluções tradicionais
3. Dado que os troncos estão numa estrutura metálica amovível, o acesso aos mesmos fica facilitado, novamente aproveitando ao máximo o espaço
4. A colheita fica facilitada dado que se consegue girar o tronco facilmente

Neste momento em Portugal, neste tipo específico de produção, a empresa Litoral Cogumelos deverá ser a maior ou segunda maior empresa em área coberta de produção e em número de toneladas de troncos. A Litoral Cogumelos é a única com este sistema inovador e patenteado de armazenamento vertical de troncos.

Por esses motivos se poderá dizer, que na sua área de atuação, esta é uma empresa de referência no sector.

Dada a dimensão prevista desta indústria, torna-se viável economicamente investir em alguns melhoramentos tecnológicos caros, só justificáveis com uma produção em escala, como esta indústria é exemplo.

O cogumelo produzido em tronco atinge valores de mercado muito superiores ao cogumelo branco, é considerado um artigo de luxo, e dado que existem muito poucas indústrias em Portugal a produzi-lo, e quando o produzem, não o fazem normalmente na dimensão desta indústria, antevê-se que quando a indústria estiver completamente concluída e a produzir à sua taxa nominal, trará lucros consideráveis aos investidores. Mais uma vez justificando o investimento em soluções baseadas na indústria 4.0.

3.3. PROCESSO DE PRODUÇÃO ATUAL DA EMPRESA “LITORAL COGUMELOS”

A empresa Litoral Cogumelos utiliza neste momento um processo produtivo um pouco tradicional, com poucas máquinas e equipamentos e, pouca automação.

A figura 33 sintetiza o processo produtivo atual da empresa.



Figura 33 - Materiais rudimentares para produção não industrial [28]

Neste momento os troncos são comprados a uma empresa externa, e vem já cortados. São então descarregados por funcionários para uma área onde ficam em *stock*, à espera de serem

transportados por um empilhador ou manualmente para a área de operação, onde serão furados.

A figura 34 mostra ao fundo do lado esquerdo, uma rampa feita com duas varas de ferro, que é o local por onde são colocados os troncos que vêm do *stock*, para serem posteriormente furados.

Os troncos rolam por essa rampa até ao operador que fica a furar os troncos, dentro da rede que se pode observar na figura.



Figura 34 - Zona de produção (vista longitudinal)

Na figura 35 podemos observar melhor a rampa por onde rolam os troncos para a zona de furação ao fundo.



Figura 35 - Zona de produção (rampa para a furação)

Na figura 36 podemos observar melhor a zona de furação e a zona de inoculação. A zona de furação fica no final da primeira rampa, envolvida por rede por todos os lados, dado que ao realizar a furação com berbequim é comum que haja grande projeção de detritos de madeira, que poderiam ferir outros funcionários, nomeadamente o que se irá encontrar na zona contígua de inoculação.

O operador de furação, recebe o tronco, fura-o com berbequim, colocando de 5 a 7 furos em linha no tronco, roda o tronco cerca de 45° e realiza de novo o processo de furação. O tronco é rodado quatro vezes, ficando, portanto, com quatro retas de furos. Todo este processo é manual.

O operador ao terminar de furar um tronco, empurra-o para o operador da inoculação, imediatamente à sua direita.

Dado que o tronco está colocado numa estrutura em ferro com rodas, é fácil roda-lo, para realizar as várias retas de furação. Esse mesmo sistema metálico assenta numa outra estrutura mecânica com rodas que permite que o tronco seja “empurrado” facilmente para a direita.

Dado que são duas estruturas destas, como se pode observar na figura 36 e 37, o que permite que o operador da inoculação, quando termina de inocular, devolve o carrinho livre ao operador de furação, realizando assim os dois operadores um ciclo produtivo.



Figura 36 - Zona de produção (vista lateral)



Figura 37 - Zona de produção (carrinhos)

Nas figuras 38 e 39 podemos observar o posto de trabalho da furação.

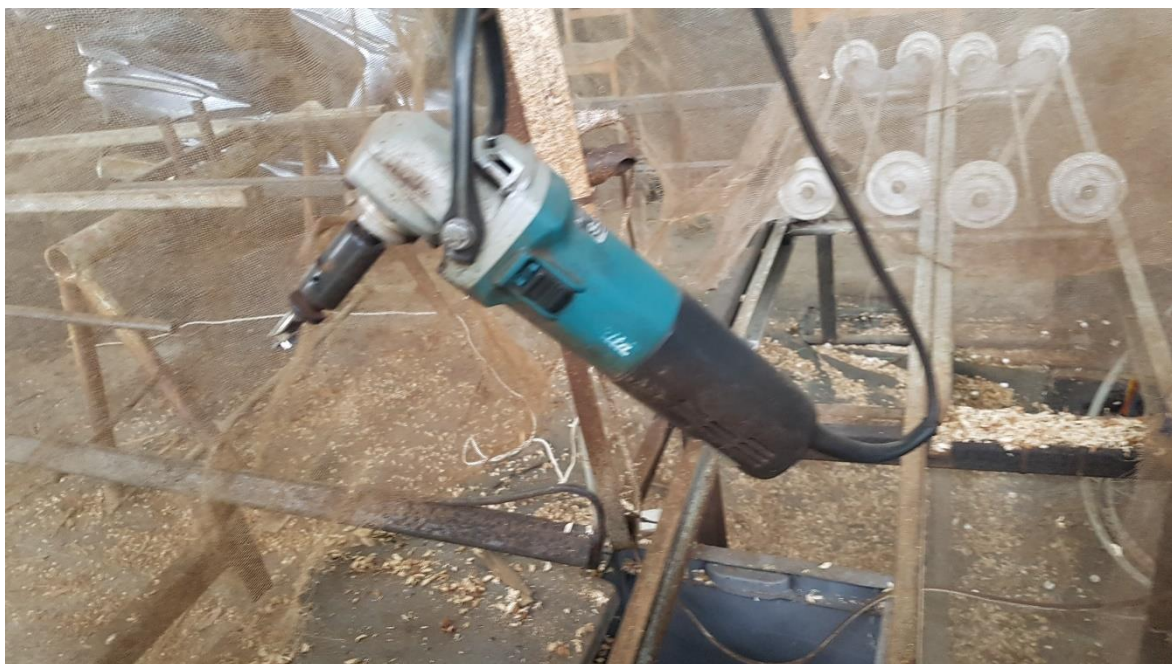


Figura 38 - Zona de produção (posto da furação) – Vista de pormenor



Figura 39 - Zona de produção (posto da furação) – Vista geral

Na figura 40, podemos observar um exemplo, utilizado em algumas empresas, de um processo um pouco mais eficiente do que é atualmente utilizado, dado que realiza uma reta

de furos de uma só vez, trazendo mais precisão, ao distanciamento entre furos e sendo mais rápido.



Figura 40 - Furação manual (outro processo)

A inoculação mais tradicional pode ser realizada como mostra na figura 41, contudo a empresa Litoral Cogumelos investiu cerca de 9.000,00€ numa máquina semiautomática de inoculação e selagem por rodela de esferovite, como mostra nas figuras 42 a 45.



Figura 41 - Inoculação manual por caneta de inoculação



Figura 42 - Máquina de inoculação semiautomática

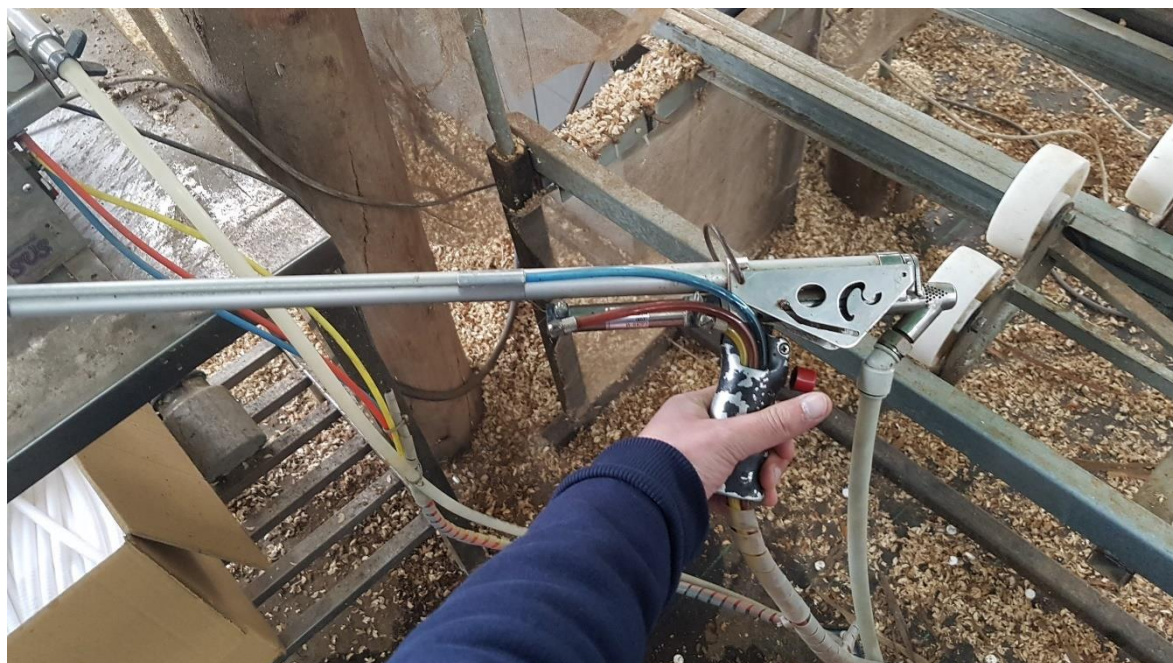


Figura 43 - Pistola de inoculação



Figura 44 - Selante em rodela de esferaovite

Esta máquina tem um reservatório para o micélio e os selantes de esferaovite são introduzidos diretamente na pistola de inoculação. O operador vai realizando disparos nos vários furos do tronco. A máquina dispara primeiro uma certa quantidade de micélio dentro do furo e no final dispara uma rodela de esferaovite que tapa o furo, protegendo assim o micélio de contaminações.

Na figura 40 podemos observar a visão desde o posto de trabalho da inoculação.



Figura 45 - Zona de produção (Vista do operador de inoculação)

É de frisar que o manuseio desta pistola, é bastante violento para o braço do utilizador. Uma inoculação robótica / mecânica seria uma grande mais valia.

Após a inoculação do tronco este é empurrado para a rampa mostrada na figura 45, ficando à espera que o operador seguinte o retire da rampa e o empilhe da forma que podemos observar na figura 46.



Figura 46 - Troncos empilhados

Após este processo de empilhamento dos troncos, estes ficam em repouso, contudo é necessário controlar a sua humidade e temperatura. Esse controlo é feito várias vezes ao dia por um funcionário que verifica as leituras de humidade do ar e temperatura nos sensores das figuras 47 e 48 e altera a humidade da estufa através de uma bomba de água de acionamento manual que gera uma nebulização de água no ar através dos nebulizadores da figura 49, que estão espalhados pelo teto de toda a estufa.



Figura 47 - Sensor de humidade e temperatura



Figura 48 - Aparelho digital de medição de humidade e temperatura

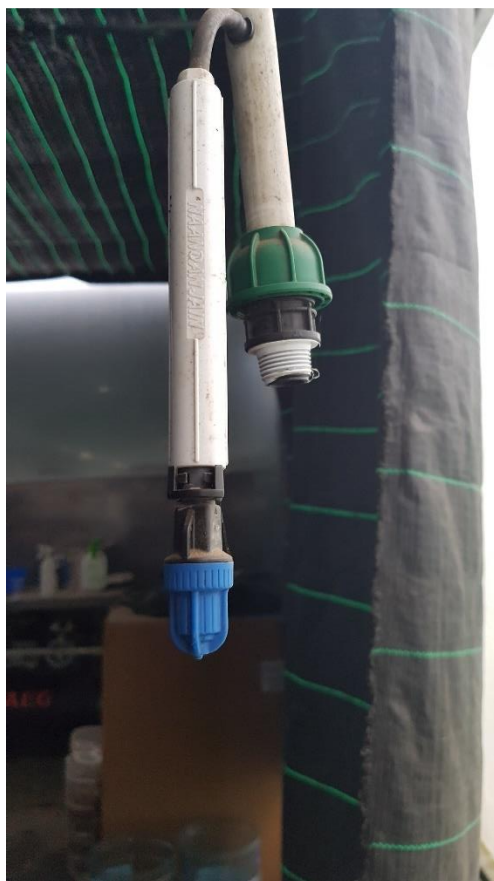


Figura 49 - Nebulizador para aspersão de neblina de água

Nesta fase de incubação, outro dos fatores a ser controlado pelos operadores, é o arejamento e exposição solar da estufa, este segundo fator está também interligado com o controle de temperatura dentro da estufa, dado que diminuindo a exposição solar com a criação de uma sombra artificial por lona, como mostra a figura 50, podemos controlar dessa forma a temperatura.



Figura 50 - Lona negra para controlo da exposição solar e temperatura

Na figura 51 podemos ver o método manual, atualmente utilizado para controlo do arejamento da estufa.



Figura 51 - Manivela de abertura do telhado

Quando termina a fase de incubação onde foram mantidas o mais possível as condições ótimas de humidade e temperatura, o operador realiza a indução da frutificação, realizando um choque térmico na pilha de troncos. A figura 52 mostra o processo atualmente utilizado.



Figura 52 - Equipamentos para o choque térmico em água

Após a indução da frutificação o operador coloca os troncos na estrutura metálica mostrada na figura 53. Este é o sistema inovador e patenteado anteriormente falado, que é utilizado na empresa Litoral Cogumelos. Contudo dado o volume de toneladas de troncos existente e a escassez de estruturas metálicas neste momento. Nem todos os troncos na fase de frutificação tem espaço na estrutura metálica, pelo que ficam empilhados de forma tradicional, a forma como outras empresas o fazem, como mostra a figura 54.



Figura 53 - Estrutura metálica de armazenagem de troncos em fase de frutificação



Figura 54 - Troncos em fase de frutificação – método tradicional

Quando se dá a frutificação o operador recolhe os cogumelos para cestos e guarda os cestos cheios de cogumelos na arca frigorífica, para posteriormente serem vendidos.

Na figura 55 podemos ver a zona frigorífica de armazenagem de produto acabado (cogumelos) e onde se guarda o *stock* de micélio.



Figura 55 - Arca frigorífica

3.4. PROPOSTA DE TRANSFORMAÇÃO DA EMPRESA LITORAL COGUMELOS NUMA INDÚSTRIA 4.0

3.4.1. ASPETOS GERAIS

No capítulo 2 foram extensamente apresentadas as várias tecnologias que compõem ou podem compor uma Indústria 4.0.

No capítulo 3.1, discutiram-se os conceitos teóricos da produção industrial de cogumelos em tronco e no capítulo 3.2 o método atualmente utilizado na indústria em estudo.

Neste capítulo irão se apresentadas soluções inovadoras para este tipo de indústria, soluções essas que irão tornar esta empresa muito mais eficiente e produtiva e acima de tudo transformá-la numa indústria 4.0.

Esse é o principal objetivo desta dissertação, indicar e criar soluções para esta indústria específica, soluções essas ligadas à indústria 4.0 e fazer uma análise económica do investimento nas soluções apresentadas.

Ao longo dos próximos subcapítulos serão dados valores de referência para a aquisição dos equipamentos ou *software* necessários, para concretizar as soluções apresentadas.

O custo e análise financeira de cada solução apresentada, será indicado exclusivamente, para essa mesma solução. Isso quer dizer que o custo da compra e desenvolvimento de um sistema MES (Manufacturing Execution System) para uma solução, não é o mesmo para todas as soluções. Existem soluções com maior complexidade que exigirão um investimento superior para o seu desenvolvimento.

Se todas as soluções propostas fossem adotadas de uma só vez, a aquisição do sistema MES, seria inferior à soma de todos os sistemas MES aqui apresentados.

O motivo de se ter realizado as análises financeiras isoladamente, por cada intervenção nos vários processos desta indústria, prende-se com o facto de não existir capital suficiente para se conseguir realizar imediatamente todas as melhorias apresentadas. Feita desta forma a análise, teremos em conclusão, quais os investimentos com maior retorno e em menor espaço de tempo, assim podemos ir percorrendo gradualmente o caminho da total automatização, dado que os recursos financeiros disponíveis são limitados.

3.4.2. PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO NOS DIVERSOS PROCESSOS

Nos subcapítulos seguintes irão ser apresentadas soluções indústria 4.0, para cada um dos processos apresentados, e será feita a respetiva análise económico financeira do investimento nessa melhoria ao processo/ método existente.

3.4.2.1. PROCESSO DE COMPRAS

Relativamente às compras poderíamos implementar um sistema MES, aliado a um ERP (Sistema Integrado De Gestão) e um website para compras, onde teríamos uma plataforma para os clientes poderem realizar as encomendas de cogumelos.

O departamento de compras, também alimentaria o MES sobre as compras efetuadas por email ou telefonicamente pelos clientes. Com estes inputs no sistema, saberíamos as necessidades de produção, em tempo real.

Dado que é possível estimar a produção de cogumelos no espaço temporal e induzir a frutificação, bastando que para isso soubéssemos a temperatura e as estirpes de cogumelos, sendo assim, conseguiríamos induzi-la num espaço temporal de 7 a 15 dias mediante as necessidades dos clientes.

Com essas informações no sistema, este indicará a que velocidade deveremos produzir os cogumelos.

Dado que os cogumelos após a sua colheita tem uma validade limitada, não é viável, produzir à plena carga, pois teríamos problemas de *stock* e deterioração do produto acabado.

Só sabendo as necessidades dos clientes, poderíamos aplicar uma metodologia PULL, à nossa indústria.

Seria uma situação ideal, se a procura fosse superior à produção, nesse caso este condicionalismo não se colocaria, mas esse caso infelizmente é irrealista.

Outro fator a ter em conta é que, um dos grandes problemas inerentes à comercialização de produtos alimentares (e neste caso perecíveis em poucos dias) em grande escala, é que há cláusulas contratuais que estabelecem / impõem ao produtor quantidades mínimas, por exemplo, semanais, que em caso de incumprimento são altamente penalizadoras para o produtor.

Outro fator a ter em conta é que os troncos têm um período de 2 a 4 anos onde se conseguem produzir os cogumelos, findo este período, ficam inutilizáveis.

Na tabela 3 é apresentada a duração dos troncos por tipo de madeira.

Tipo de Madeira	Incubação	Duração Min.	Duração Max.
Eucalipto	6 Meses	2.5 Anos	3 Anos
Carvalho	9 – 12 Meses	3 Anos	5 Anos
Castanho	9 – 12 Meses	3 Anos	4 Anos

Tabela 3 - Duração por tipo de madeira

Poderia implementar-se um sistema de reconhecimento de imagem, através de um circuito fechado de televisão (CCTV), com *software* próprio, que observaria a quantidade de cogumelos que cada tronco conseguia produzir e com isso decidiria se aquele tronco ainda deveria ser mantido na produção ou não. Caso um tronco tivesse uma produção abaixo de um parâmetro pré-estabelecido, o sistema daria ordem para encomendar novos troncos.

Outra forma de avaliar a perda de produção dos troncos, de forma mais eficiente do que por imagem, poderia ser em função do peso do tronco, pois à medida que ele vai perdendo “alimento” para o desenvolvimento dos cogumelos, eles tornam-se cada vez mais leve. Por exemplo, um tronco fresco e verde pesa cerca de 20Kg, e pode chegar aos 2Kg quando tiver esgotado de nutrientes. Um sensor de peso instalado em cada tronco, é de fácil implementação e reduzidos custos, e daria um input ao MES para prever a melhor altura para a troca e compra de troncos.

Os novos troncos teriam de ser inoculados, logo o MES também realizaria a compra automática do Micélio.

De realçar que pressupondo que estamos a começar a inocular hoje, são necessários pelo menos 6 meses para a primeira frutificação.

No fluxograma da figura 56 podemos observar uma proposta de árvore de acontecimentos para ser implementada nas rotinas do sistema MES, que iria realizar automaticamente o

pedido de compra dos troncos, mediante o que os sensores em campo indicassem, e mediante a demanda por produto acabado (cogumelos).

Para a compra de micélio, selantes e brocas, o sistema MES teria apenas de realizar uma compra proporcional ao número de troncos a adquirir. Com um sistema destes implementado teríamos a certeza de em tempo real termos o nosso *stock* de materiais para a produção sempre em quantidade suficiente, sem excesso de *stock*, nem *stock* a menos.

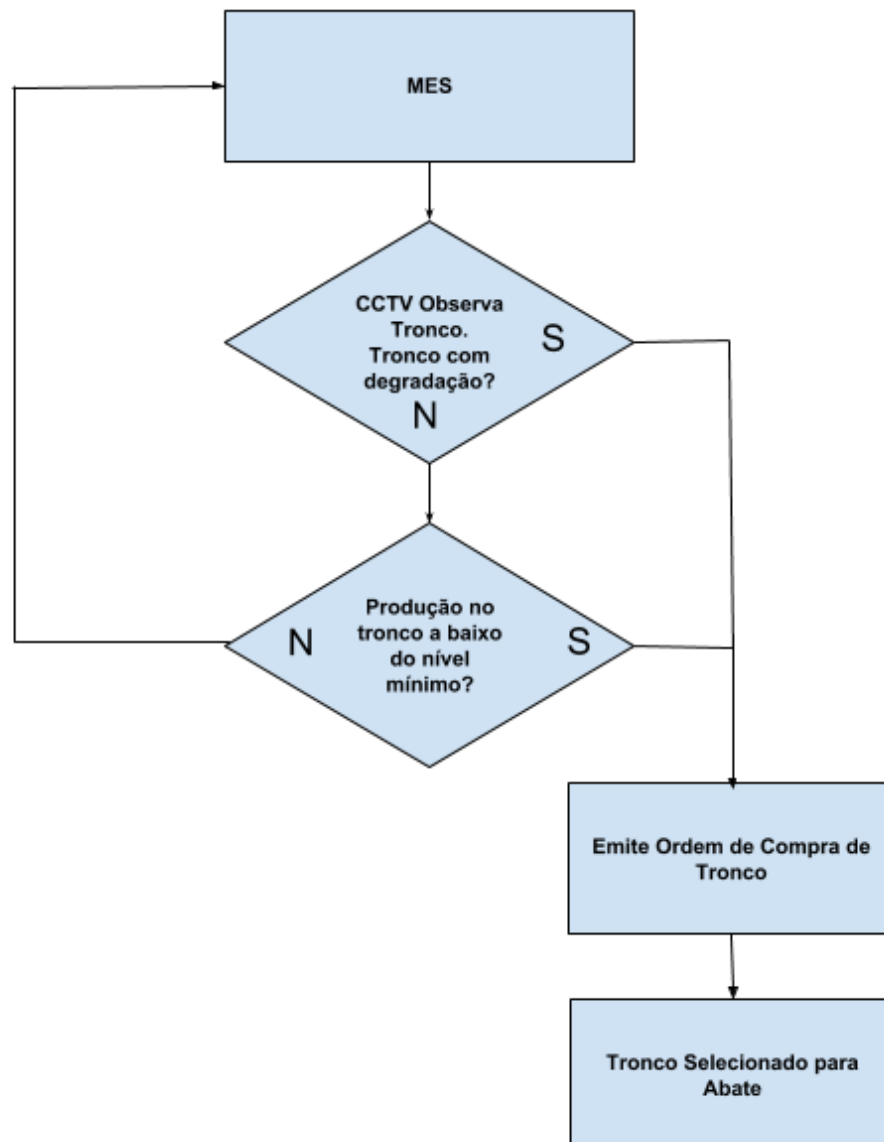


Figura 56 - Fluxograma de verificação do estado dos troncos

Podemos sintetizar esta oportunidade de melhoria da seguinte forma:

Processo:

Compras de troncos e micélio realizadas automaticamente pela plataforma MES mediante: stock existente, peso do tronco, produtividade do tronco, nível de produção pretendido.

Mais valias da sua implementação:

Permitiria controlar o estado de centenas de toneladas de troncos, de forma mais precisa, em tempo real, e com redução substancial do número de trabalhadores dedicados a esta tarefa. Permitiria também manter níveis de stock inferiores dado que ganhar-se-ia uma maior previsibilidade e segurança nas necessidades de stock. Ajudaria na identificação e rastreio dos troncos a substituir.

Necessário investir em e respetivo custo estimado:

- Sensores de peso – 75.000,00€
Serà necessário um sensor por tronco, e quando a empresa estiver na sua capacidade máxima, estimam-se que estejam cerca de 30.000 troncos em produção, sendo que cada sensor tem um custo estimado de 2,50€ entre a sua compra e instalação, totalizando um investimento de 75.000,00€
- Software MES – 60.000,00€
- Plataforma online de compras – 3.000,00€
- Software ERP – 10.000,00€

Custo anual do processo atual:

Estima-se que esta tarefa gaste uma hora de trabalho, por cada dia útil do ano ($365 - 52.2 = 261 \text{ dias}$) sendo que o custo de uma hora de trabalho é de 10,00€, logo esta tarefa tem um custo anual de: $261 \text{ dias} \times 10.00\text{€}$ que é igual a 2.610.00€.

Custo anual do novo processo:

Devemos considerar que cerca de 10% dos sensores irão avariar a cada ano e terão de ser substituídos, dado que eles estarão num ambiente muito húmido e sob a força constante do peso do tronco, para além que na altura da colheita, que será feita cerca de 4 vezes ao ano, o trabalhador terá de rodar o tronco, o que irá desgastar o sensor, logo estima-se um custo

anual com troca de sensores na ordem dos 7.500.00€ (*30.000 sensores * 10% que avariam/ano * 2.50€ de custo por sensor*).

Para calcularmos o número de anos necessário para obter o retorno do investimento nesta solução, deveremos utilizar a expressão seguinte:

PBT – *Payback Time* – Tempo estimado em que com o aumento dos rendimentos de produção e redução dos custos de produção, conseguimos recuperar o investimento inicial.

PBT = Investimento inicial / (Custo anual do processo atual – Custo anual do novo processo)

Na tabela 4 faz-se a análise económica do investimento na aquisição de um sistema, que realizasse o processo de compras automaticamente.

Investimento inicial	Custo anual do processo atual	Custo anual do novo processo	PBT
148 000,00 €	2 610,00 €	7 500,00 €	Não Recuperável

Tabela 4 - Análise económica relativa à implementação de metodologias Indústria 4.0 no processo de compras

Como se pode observar na tabela 4, apesar da implantação de um sistema de compras como este proposto ser possível, isso não seria viável economicamente, pelo que a empresa continuará com o processo atual. Basta para isso observar que atualmente este processo tem um custo anual de 2.610,00€, e o custo anual após implementação é superior em cerca de 5.000,00€.

Poderíamos no entanto dividir o custo da compra do software MES, do ERP e da plataforma online, por outras melhorias que serão apresentadas nos pontos seguintes e que também se irão servir destas plataformas, tornando o investimento nesta solução menos dispendioso e até atrativo, pois teríamos de considerar o ganho advindo da segurança fornecida por um sistema destes, dado que traz um maior controlo sobre a produção.

3.4.2.2. TRANSPORTE DOS TRONCOS DO CAMIÃO PARA A ZONA DE FURAÇÃO

O camião que abastece de troncos a indústria tem um braço robótico capaz de descarregar o camião. No entanto neste momento os troncos são colocados no chão em pilha. Ficando em *stock*, e sendo recolhidos para a esteira de furação manualmente.

Cada tronco pesa entre 18 a 22 Kg pelo que o processo de transporte é lento e trabalhoso, existindo também um grande risco de acidentes para os trabalhadores, para além do risco de poderem vir a sofrer lesões na coluna e braços.

Na figura 57 vemos um exemplo de como o processo é atualmente realizado.



Figura 57 - Transporte de troncos

Este processo poderia ser largamente melhorado, a baixo custo, através da instalação de um braço robotizado, como o da figura 59 que colocaria os troncos numa esteira, que por sua vez alimentaria a máquina de furar troncos.

Na figura 58 podemos observar um exemplo de uma esteira de transporte de troncos.



Figura 58 - Esteira para transporte de toras [25]



Figura 59 - Braço robótico para manipulação de troncos

Este processo seria controlado pelo MES, mediante a disponibilidade / velocidade do processo seguinte, a furação.

Neste processo, poderíamos facilmente arranjar uma solução robótica / mecânica de recolha dos troncos do *stock* e entrega destes ao processo de furação, sem qualquer intervenção humana.

Devemos ter em conta que os troncos de eucalipto devem ser inoculados o mais brevemente possível após o corte da árvore, dado que é um tipo de madeira mais suscetível à entrada de contaminações. Após a inoculação, o cogumelo começa a alastrar por todo o tronco, o ideal é que ganhe a batalha contra o fungo, caso este esteja presente. O fungo é tanto mais forte, mediante o tempo que teve para se desenvolver no tronco, e quase nunca consegue se desenvolver, onde o cogumelo está presente, logo por isso é tão importante ser rápido a inocular, para dar vantagem ao cogumelo em relação ao fungo. Nesse sentido investir na automatização deste processo em detrimento de outros, é bastante vantajoso.

Podemos sintetizar esta oportunidade de melhoria da seguinte forma:

Processo:

Transporte dos troncos do *stock* para a zona de furação

Mais valias da sua implementação:

Se feito manualmente, são precisas duas pessoas no transporte para que não ocorra uma paragem do operador que realiza a furação. Se feito através de esteira não ocorre o efeito de gargalo no processo e ao torna-lo mais rápido evitamos que as contaminações ocorram.

Necessário investir em e respetivo custo estimado:

- Esteira – 10.000,00€
- Máquina de colocação dos troncos na esteira – 10.000,00€
- MES – 1.000,00€

Custo anual do processo atual:

As perdas por não produção por se considerarem de valor reduzido, não foram consideradas.

Estima-se que esta tarefa gaste 4 horas de trabalho, por cada dia útil do ano ($365 - 52,2 = 261 \text{ dias}$) é realizada por dois trabalhadores, sendo que o custo de uma hora de trabalho é de 10,00€, logo esta tarefa tem um custo anual de: $4 \text{ horas} * 261 \text{ dias} * 2 \text{ trabalhadores} * 10,00€ \text{ por hora}$, perfazendo o valor anual de 20.880.00€.

Custo anual do novo processo:

Estima-se que o custo anual de manutenção destes dois sistemas seja de 500,00€.

A tabela 5 sintetiza a análise financeira e vantagens da aquisição destes equipamentos.

Investimento inicial	Custo anual do processo atual	Custo anual do novo processo	PBT
21 000,00 €	20 880,00 €	500,00 €	1,0

Tabela 5 - Análise económica relativa à implementação de metodologias Indústria 4.0 no processo de movimentação de troncos

Em conclusão, este processo por ter um investimento relativamente baixo, e ser de complexidade reduzida, será um dos principais investimentos a ser realizado a curto prazo, dado que o PBT é de apenas 1 ano.

3.4.2.3. FURAÇÃO DOS TRONCOS E INOCULAÇÃO

Cada tronco leva, aproximadamente, 4 a 5 fileiras de 7 furos. Os 28 a 35 furos, realizados em cada tronco, demoram ao operador em média 30 segundos a serem feitos.

Atualmente os troncos são furados manualmente através do recurso a berbequins. É um trabalho duro, braçal, com o risco de o operador furar a própria mão, ou criar lesões nas mãos e coluna devido ao trabalho repetitivo.

Poderíamos também aqui intervir com a instalação de um processo robotizado e autónomo que realizaria a furação automaticamente, sem a intervenção humana.

Existem atualmente máquinas que realizam a furação e inoculação de uma só vez e automaticamente, contudo ainda é necessário um operador para alimentar a máquina de troncos, contudo a solução aqui proposta pretende ir ainda mais longe na eficiência deste processo.

As empresas mais produtivas da industrial de cogumelo em tronco situam-se no Japão, local onde originalmente são produzidos os cogumelos em tronco. Com os níveis de produção atingidos no Japão é economicamente viável investir numa máquina como a das figuras 60 e 61, contudo mesmo esta máquina reque a intervenção humana, o que se propõem é a criação de uma máquina muito semelhante à das figuras, mas com um alimentador automático à entrada, que coloque e alinhe o tronco para entrar na máquina. Dessa forma a

esteira que transportou o tronco do *stock* de troncos, entrega diretamente o tronco para a máquina de furação e inoculação.



Figura 60 - Máquina de inoculação automática – Vista lateral [27]



Figura 61 - Máquina de inoculação automática – Vista frontal [27]

Podemos sintetizar esta oportunidade de melhoria da seguinte forma:

Processo:

Furação mais inoculação automática

Mais valias da sua implementação:

Se feito manualmente, são precisas duas pessoas. Uma faz a furação e outra a inoculação. Se feito por máquina, para além de se conseguirem espaçamentos entre furos standertizados o que leva a um aumento de produção, bem como um melhoramento na prevenção de contaminações, consegue-se também realizar este processo mais rapidamente, evitando o efeito gargalo

Necessário investir em e respetivo custo estimado:

- Máquina automática de furação e inoculação – 50.000,00€

Custo anual do processo atual:

As perdas por não produção por se considerarem de valor reduzido, não foram consideradas.

Este processo tem um custo de manutenção anual de cerca de 1.000,00€, para substituição de brocas e manutenção das máquinas.

Estima-se que esta tarefa gaste 4 horas de trabalho, por cada dia útil do ano ($365 - 52.2 = 261 \text{ dias}$) é realizada por dois trabalhadores, sendo que o custo de uma hora de trabalho é de 10,00€, logo esta tarefa tem um custo anual de: $4 \text{ horas} * 261 \text{ dias} * 2 \text{ trabalhadores} * 10.00€$ por hora, perfazendo o valor anual de 20.880.00€.

Somando o valor da manutenção, com o valor gasto em mão-de-obra, obtemos o custo anula do processo de 21.880.00€.

Custo anual do novo processo:

Estima-se que o custo anual de manutenção deste novo sistema seja de 1.000,00€.

Na tabela 6 podemos verificar a análise financeira e vantagens deste investimento.

Investimento inicial	Custo anual do processo atual	Custo anual do novo processo	PBT
50 000,00 €	21 880,00 €	1.000,00 €	2,4

Tabela 6 - Análise económica relativa à implementação de metodologias Indústria 4.0 no processo de furação e inoculação

Podemos concluir que o investimento numa solução como esta traria um ganho produtivo considerável, bem como um retorno do investimento a curto / medio prazo, pelo que o investimento nesta solução é economicamente vantajoso.

3.4.2.4. PALETIZAÇÃO DOS TRONCOS

Após a inoculação, os troncos são empilhados. O processo de empilhamento usado na empresa é realizado manualmente.

A figura 62 mostra os troncos empilhados.



Figura 62 - Troncos empilhados para produção

Este processo poderia ser realizado por máquinas e braços robóticos, contudo dado que os troncos não são uniformes na sua espessura, não basta simplesmente empilha-los “em quadrado”, dado que rapidamente criaríamos uma pilha desequilibrada. O operador

conforme vai montando o castelo de troncos, tem de os ir posicionando de forma a criar uma pilha estável de troncos.

A decisão de uma solução completamente autónoma de criação de pilhas de troncos acarretaria a introdução, de um sistema de CCTV e *software* de reconhecimento da forma do tronco. Este sistema seria demasiado dispendioso para ser viável, pelo que não é aconselhável tal implementação.

O que é economicamente viável, e que träs um retorno do investimento curto, seria a colocação de um braço robótico para manipulação dos troncos, retirando-os do processo de inoculação e colocando-os na pilha. O operador humano daria o seu contributo de avaliação de como construir o castelo de troncos, e manipularia o braço robótico manualmente, com um comando tipo joystick.

Podemos sintetizar esta oportunidade de melhoria da seguinte forma:

Processo:

- Empilhamento dos troncos

Mais valias da sua implementação:

- Evita-se o efeito gargalo no processo
- Evita-se o risco de lesões no trabalhador

Necessário investir em e respetivo custo estimado:

- Braço robótico para manipulação de troncos através de Joystick – 10.000,00€

Custo anual do processo atual:

As perdas por não produção por se considerarem de valor reduzido, não foram consideradas.

Estima-se que esta tarefa gaste 4 horas de trabalho, por cada dia útil do ano ($365 - 52.2 = 261 \text{ dias}$) é realizada por um trabalhador, sendo que o custo de uma hora de trabalho é de 10,00€, logo esta tarefa tem um custo anual de: $4 \text{ horas} * 261 \text{ dias} * 1 \text{ trabalhador} * 10.00€$ por hora, perfazendo o valor anual de 10.440.00€.

Custo anual do novo processo:

Estima-se que este trabalho consiga ser realizado pelo operador em metade do tempo (2 horas / dia), pelo que o custo do processo atual é reduzido em 50%, passando para o valor de 5.220,00€.

Na tabela 7 é mostrada a análise económico financeira de tal investimento.

Investimento inicial	Custo anual do processo atual	Custo anual do novo processo	PBT
10 000,00 €	10 440,00 €	5 220,00 €	1,9

Tabela 7 - Análise económica relativa à implementação de metodologias Indústria 4.0 no processo de empilhamento dos troncos

Podemos concluir que o investimento numa solução como esta traria um ganho produtivo considerável, e um retorno do investimento a medio prazo, pelo que é aconselhável o investimento nesta solução.

3.4.2.5. CONTROLO DE TEMPERATURA, HUMIDADE, AREJAMENTO E EXPOSIÇÃO SOLAR

Neste momento o controlo de temperatura, humidade, arejamento e exposição solar é realizado por leitura manual dos sensores que se encontram na estufa. É um processo demorado e repetitivo, e que se não for corretamente realizado acarreta em perdas significativas na produção. Para além desse facto, o acionamento dos sistemas de controlo de humidificação, arejamento e exposição solar, são comandados manualmente.

Como já foi explicado nos capítulos anteriores, o cogumelo para crescer tem de ter a temperatura e humidade ambientes bem como o arejamento e exposição solar controlados.

Este trabalho poderia ser realizado de forma automática e sem intervenção humana, trazendo ganhos produtivos significativos, pelo que se propõem a seguinte solução técnica.

Propõem-se a criação de um sistema autónomo capaz de recolher os seguintes dados:

- Humidade do ar
- Humidade do tronco
- Temperatura do ar
- Temperatura do tronco
- Exposição solara

O sistema proposto seria capaz de controlar autonomamente os seguintes sistemas:

- Sistema de humidificação do ar
- Sistema de AVAC
- Sistema de abertura do telhado
- Sistema de controlo da lona de escurecimento da estufa

Para a recolha dos dados relativos à humidade e temperatura do ar, poderiam ser colocados a cada 100m² da estufa, um sensor que lesse a humidade e temperatura e que comunicasse via *wireless* com o sistema MES.

Para a recolha dos dados relativos à humidade e temperatura do tronco, poderiam ser colocados sensores nos troncos que lessem esses valores e que comunicassem via *wireless* com o sistema MES. Não seria necessário, no entanto a colocação de sensores nos cerca de 30.000 troncos da produção, dado que a humidade e temperatura dos troncos não varia muito em regiões próximas, sendo que sugere-se a colocação de um sensor por cada 48 troncos (o sistema vertical de troncos comporta 48 troncos por secção) perfazendo um total de 625 sensores a adquirir.

Para a recolha dos dados relativos à exposição solar bastaria realizar a colocação de um sensor crepuscular do lado exterior da estufa, que medisse a intensidade e angulo de incidência solar em tempo real, comunicando via *wireless* com o sistema MES.

Para o controlo da humidificação do ar, dado que o sistema de tubos de água e nebulizadores é existente, sendo que o acionamento do motor de rega e aspersão tem ativação manual, sugere-se a instalação de um sistema eletrónico capaz de comandar autonomamente a bomba existente. Este sistema eletrónico a adquirir seria composto por um modulo de comunicação *wireless*, para comunicação com o sistema MES, e um contator de forma a dar uma saída de 24V DC que iria ser conectada à placa eletrónica da bomba existente, que permitiria comanda-la.

Para o controlo da temperatura da estufa, seria adquirido um sistema AVAC (sistema de aquecimento e ventilação de ar condicionado).

De notar que a temperatura ambiente pode ser controlada humidificando o ar, ou abrindo o telhado para criar arejamento, no caso de estar calor, e no caso de as temperaturas estarem baixas, através do sistema AVAC.

Para o controlo da abertura do telhado propõem-se a aquisição e instalação de um motor comandando via *wireless*, em cada uma das lonas amovíveis da estufa. Através de dados

parametrizados no MES, seria possível calcular sobre a necessidade ou não de arejamento dentro da estufa, pelo que o MES através dos dados de humidade, temperatura e ciclos de arejamento anteriores, poderia autonomamente decidir por acionar o arejamento ou cessá-lo.

Para o controlo da lona de escurecimento da estufa propõem-se a aquisição e instalação de um motor comandando via *wireless*, em cada uma das lonas de escurecimento da estufa. Através de dados parametrizados no MES, seria possível calcular sobre a necessidade ou não de sombra dentro da estufa, pelo que o MES através dos dados do sensor crepuscular bem como dos sensores de humidade e temperatura, poderia autonomamente decidir por acionar o motor de fecho da lona de sombra ou por deixar o sol entrar livremente na estufa.

Podemos sintetizar esta oportunidade de melhoria da seguinte forma:

Processo:

- Controlo de temperatura, humidade, arejamento e exposição solar

Mais valias da sua implementação:

- Ganhos produtivos significativos
- Redução significativa na mão-de-obra necessária no método atual

Necessário investir em e respetivo custo estimado:

- Sistema MES – 30.000,00€
- Sensores de humidade e temperatura do ar – 600.00€
Aquisição de 30 sensores de humidade e temperatura (3000m2 a controlar com 1 sensor por cada 100m2) sendo que é estimado um custo por sensor de 20,00€
- Sensores de humidade e temperatura do tronco – 1.250,00€
Aquisição de 625 sensores sendo que cada sensor tem um custo estimado de 10,00€
- Sensor crepuscular – 100,00€
- Sistema eletrónico capaz de comandar autonomamente a bomba existente – 300,00€
- Sistema AVAC – 10.000,00€
- Motor para abertura do telhado – 1.800,00€

Existem 12 aberturas nos extremos da estufa e 6 aberturas a meio da estufa, perfazendo 18 locais a comandar, cada motor de comando tem um custo estimado de 100.00€

- Motor de enrolamento da lona solar – 1.200,00€

Existem 12 lonas a controlar, sendo que o custo estimado por motor é de 100.00€

Custo anual do processo atual:

Neste processo serão consideradas perdas por não produção, dado que estas são significativas. Controlar a humidade de 30.000 troncos diariamente é um processo que se controlado por este sistema proposto, pode trazer um aumento da produção de cogumelos que rondam os 40.000,00€ ao ano. Para além do controlo da humidade dos troncos, o controlo de temperatura e humidade do ar, o controlo de arejamento e exposição solar, se feitos sem erro humano e em tempo real, contribuem em muito para o valor estimado de 40.000,00€.

Estima-se que esta tarefa gaste 8 horas de trabalho, por cada dia útil do ano ($365 - 52.2 = 261 \text{ dias}$) é realizada por um trabalhador, sendo que o custo de uma hora de trabalho é de 10,00€, logo esta tarefa tem um custo anual de: $8 \text{ horas} * 261 \text{ dias} * 1 \text{ trabalhador} * 10.00€$ por hora, perfazendo o valor anual de 20.880.00€.

Custo anual do novo processo:

Estima-se que o novo processo tenha um custo anual em manutenção e substituição de sensores e outras peças de desgaste no valor total de 3.000,00€

Na tabela 8 é mostrada a análise económico financeira de tal investimento.

Investimento inicial	Custo anual do processo atual	Custo anual do novo processo	PBT
45 250,00 €	60 880,00 €	3 000,00 €	0,8

Tabela 8 - Análise económica relativa à implementação de metodologias Indústria 4.0 no processo de controlo de temperatura, humidade, arejamento e exposição solar

Podemos concluir que o investimento numa solução como esta traria um ganho produtivo significativo, e que o retorno do investimento sendo inferior a um ano é aconselhável.

3.4.2.6. CONTROLO E DETEÇÃO DE CONTAMINAÇÕES E COLHEITA DOS COGUMELOS

- **Deteção de Contaminações**

As contaminações são um grave problema nas culturas de cogumelos, se não forem rapidamente detetadas, podem espalhar-se para toda a produção. Dado que elas deterioram a qualidade e desenvolvimento do cogumelo, existe o grave risco de perdas de produção devido a contaminações. Neste momento a deteção das contaminações é realizada pelos trabalhadores que inspecionam diariamente os troncos à procura de manchas esbranquiçadas que indicam que existe contaminação, de seguida esses trabalhadores raspam e limpam a zona contaminada. Se fosse implementado um sistema autónomo de CCTV com *software* próprio capaz de detetar a coloração esbranquiçada, característica aquando da existência de contaminações, e que comunicasse para o sistema MES a existência e localização do tronco contaminado, o trabalho de inspeção de cerca de 30.000 troncos poderia ser realizado em tempo real e a um menor custo. Para além disso, poderíamos ter deteção 24/7, eliminação do fator humano/ falha humana. Com a implementação de um sistema com estas características iríamos potenciar a nossa produção de cogumelos. De notar que se a contaminação não for tratada a tempo, ela pode espalhar-se para a estufa toda e provocar a perda total tanto das colheitas, como os próprios troncos, podem ter de ficar permanentemente inutilizados.

Na figura 63 podemos observar um exemplo de um tronco contaminado.



Figura 63 - Tronco contaminado

- **Colheita dos cogumelos**

A escolha do momento certo para colher o cogumelo é fundamental. O cogumelo deve ser colhido quando atinge 50 a 70% do tamanho máximo do chapéu, pois é nessas condições que terá maior durabilidade até ser consumido, aumentando o tempo em que pode estar em *stock*, e é quando tem a textura e sabor ideais. A implementação de um sistema de reconhecimento de padrões através de uma camera, que detetasse o tamanho do cogumelo e indicasse em tempo real uma listagem de troncos onde o cogumelo deveria ser colhido evitaria que tal como atualmente é feito, tivéssemos de destacar trabalhadores para observarem os cerca de 30.000 troncos, registar os respetivos locais, e procederem à recolha dos cogumelos. Esse sistema de imagem iria dar informações do estado de crescimento dos cogumelos, de forma georreferenciada ao sistema MES. O sistema MES iria criar um relatório para os trabalhadores que iriam colher os cogumelos, calculando automaticamente quais as zonas em que a colheita era prioritária. O sistema MES através dos dados disponíveis do stock de produto acabado, e a quantidade de encomendas registada, iria em tempo real tomar a melhor decisão sobre a quantidade de cogumelos a colher, dado que não é interessante ter excesso de cogumelo na zona frigorífica, se a previsão de vendas não o justificar. Essa decisão e controlo é feito pelo gestor da indústria, mas acarreta uma perda de tempo considerável, se este poder decisório estivesse implementado no MES, teríamos menor dispêndio de tempo com esta tarefa, ela seria feita em tempo real, e de uma forma mais económica e eficiente.

Solução técnica para a criação do sistema de imagem capaz de detetar contaminações e tamanho do cogumelo:

Este sistema poderia ser realizado a baixo custo através de uma tecnologia já existente, os *drones*. Um *drone* é capaz de percorrer os corredores da indústria, 24/7, e com a sua camera pode fazer uma varredura pelas pilhas de troncos da produção. Tecnicamente programar o *drone* para percorrer os corredores a uma certa velocidade, de modo a que a camera possa ir tirando as imagens é de complexidade muito reduzida. A dificuldade principal na criação desta solução prende-se sobretudo com a criação de um algoritmo de reconhecimento de imagem, capaz de transformar as imagens recolhidas em informação ou dados uteis.

Para a deteção de contaminações:

O algoritmo teria de conseguir identificar o tronco, teria de conseguir distinguir o cogumelo da contaminação e teria de perceber que a mancha branca era uma contaminação.

Para a deteção do tamanho do cogumelo:

O algoritmo teria de conseguir identificar o tronco e teria de conseguir identificar o cogumelo. Para o cálculo do tamanho do cogumelo existem já algoritmos bem desenvolvidos e tecnicamente seria de execução simples.

Podemos sintetizar esta oportunidade de melhoria da seguinte forma:

Processo:

- Controlo e deteção de contaminações e colheita dos cogumelos

Mais valias da sua implementação:

- Ganhos produtivos significativos
- Redução significativa na mão-de-obra necessária no método atual
- Maior controlo sobre a produção

Necessário investir em e respetivo custo estimado:

- Sistema MES – 60.000,00€
- *Drone* – 3.000.00€

Custo anual do processo atual:

Neste processo serão consideradas perdas por não produção, dado que estas são significativas. Controlar as contaminações e tamanho dos cogumelos de 30.000 troncos diariamente, é um processo que se controlado por este sistema proposto, pode trazer um aumento da produção de cogumelos que rondam os 30.000,00€ ao ano. Para além da redução do risco da perda total da produção e troncos.

Estima-se que esta tarefa gaste 8 horas de trabalho, por cada dia útil do ano ($365 - 52.2 = 261 \text{ dias}$) é realizada por um trabalhador, sendo que o custo de uma hora de trabalho é de 10,00€, logo esta tarefa tem um custo anual de: $8 \text{ horas} * 261 \text{ dias} * 1 \text{ trabalhador} * 10.00€$ por hora, perfazendo o valor anual de 20.880.00€.

Custo anual do novo processo:

Estima-se que o novo processo tenha um custo anual em manutenção e substituição de baterias do *drone* e outras peças de desgaste no valor total de 750,00€

Na tabela 9 é mostrada a análise económico financeira de tal investimento.

Investimento inicial	Custo anual do processo atual	Custo anual do novo processo	PBT
63 000,00 €	50 880,00 €	750,00 €	1,3

Tabela 9 - Análise económica relativa à implementação de metodologias Indústria 4.0 no processo de deteção de contaminações e colheita dos cogumelos

Podemos concluir que o investimento numa solução como esta traria um ganho produtivo significativo, e dado que o retorno do investimento calculado é de um ano e três meses, uma solução como esta mostra-se bastante vantajosa.

3.4.3. ANÁLISE GERAL DAS SOLUÇÕES APRESENTADAS

Tal como referido anteriormente, não à disponibilidade financeira para avançar neste momento com todas as soluções apresentadas, no entanto se tal ação fosse realizada, podemos ver na tabela 10 a análise financeira de tal investimento. Para esta análise consideraram-se algumas economias devido à escala do investimento, e também se considerou que criar um sistema MES de uma só vez, que contemplasse todas as soluções

ficaria mais barato, do que ir comprando e desenvolvendo o MES conforme se iria adquirindo “os vários módulos”.

Resumo Geral	Investimento inicial	Custo anual do processo atual	Custo anual do novo processo	PBT
Compras	148 000,00 €	2 610,00 €	7 500,00 €	Não Recuperável
Movimentação de troncos	21 000,00 €	20 880,00 €	500,00 €	1,0
Furação e inoculação	50 000,00 €	21 880,00 €	1 000,00 €	2,4
Empilhamento dos troncos	10 000,00 €	10 440,00 €	5 220,00 €	1,9
Controlo de temperatura, humidade, arejamento e exposição solar	45 250,00 €	60 880,00 €	3 000,00 €	0,8
Controlo de contaminações e colheita dos cogumelos	63 000,00 €	50 880,00 €	750,00 €	1,3

Análise Geral	Investimento inicial	Custo anual do processo atual	Custo anual do novo processo	PBT
Não considerando otimizações por quantidade	337 250,00 €	167 570,00 €	17 970,00 €	2,3
Considerando otimizações por quantidade	269 800,00 €	167 570,00 €	17 970,00 €	1,8

Tabela 10 - Análise económica relativa à implementação de metodologias Indústria 4.0 em todos os processos propostos

Podemos concluir que o investimento em todas as soluções propostas, de uma só vez, teria um retorno do investimento em apenas um ano e oito meses, mesmo considerando que o processo de compras contribui negativamente para o PBT geral. Desse modo caso houvesse capacidade financeira seria vantajoso realizar logo a totalidade do investimento.

4. CONCLUSÕES

4.1. CONCLUSÕES GERAIS

Ao longo deste texto foram sendo apresentadas conclusões que permitiram sustentar as opções de desenvolvimento efetuadas ao longo do projeto. Assim, nesta última secção é realizada uma síntese das principais conclusões, consequências e relevância do trabalho realizado e perspetivando futuros desenvolvimentos.

ROI

Quer seja pela redução de defeitos de produção, quer por aumento de produção, este agregar de tecnologias a que chamamos Indústria 4.0, tràs significativas mais valias para o sector industrial. Isso traduz-se diretamente num aumento do lucro e da segurança da continuação de aquisição desse lucro.

Dado esta tecnologia e a sua aplicação ainda estar numa fase de pouca maturidade, é difícil falar quantitativamente e atribuir um número ou uma percentagem, do retorno esperado, com o investimento ou alteração de uma indústria 3.0 para uma 4.0.

Também ainda não passaram anos suficientes para que muitos dos investimentos já realizados, digamos que com previsão de ROI a 5 ou 7 anos, tivessem chegado ao final, para se poder conjecturar se as previsões foram realistas, ou mesmo se superaram as expectativas.

Hà, no entanto, claros indícios, que a aplicação destas metodologias é bastante lucrativa.

Por ser uma tecnologia em fase inicial, tal como todas as tecnologias nesta fase, é ainda muito cara, muita das vezes, então o *Pay Back Time* é de vários anos, dado que é preciso lucrar durante vários anos para se conseguir atingir o valor do investimento inicial.

Com o alcance da fase de maturidade, virão também preços muito mais acessíveis, e nessa altura serão inegáveis as vantagens da sua aplicação. Arrisco-me a dizer que quem não seguir esta tendência não terá lugar no mercado, dadas as perdas competitivas.

Uma indústria a funcionar com o 4.0 em pleno, poderá praticar níveis de preço, qualidade de serviço, confiança e versatilidade que as indústrias atuais nunca poderão acompanhar, tornando se obsoletas e falindo.

ROI específico deste projeto

Muitas das soluções apontadas são para já demasiado futuristas, para uma indústria que é relativamente simples, e dado o nível de retorno deste tipo de indústrias, investir em soluções caras não se apresenta como uma mais valia real, no entanto das soluções apresentadas as que tanto tecnicamente como financeiramente seriam mais interessantes foram: sistema autónomo de controlo de (humidade do ar, temperatura e arejamento), sistema de transporte dos troncos para a furação, sistema autónomo de furação e inoculação e o sistema de robotização do empilhamento dos troncos.

Em indústrias de produção em massa, como a indústria automóvel (Volkswagen) ou a indústria de pneus (Continental), essas sim podem implementar sistemas avançados e completos da indústria 4.0, pois o volume de vendas o justifica, em empresas menores também podem ser implementadas soluções 4.0, contudo em menor escala e de menor complexidade.

Após a conclusão deste projeto são evidentes as vantagens da indústria 4.0, a sua implementação é já inevitável sob pena de a indústria que não evoluir para a 4ª revolução industrial se tornar obsoleta e pouco competitiva. Ao contrário de outros desenvolvimentos humanos, espera-se que este ocorra de forma muito rápida, o que trará graves problemas ao mercado de trabalho, mas como em todas as revoluções industriais anteriores, também é de esperar que desta vez seja possível o reposicionamento de funções após um período conturbado de mudança.

4.2. COMPONENTE ACADÉMICA

No decorrer do desenvolvimento deste projeto, foi possível aplicar e colocar em prática os conceitos adquiridos ao longo dos dois anos frequentados no Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia e mesmo os conceitos adquiridos ao longo da Licenciatura, mais especificamente, os fundamentos adquiridos nas disciplinas de: máquinas elétricas, eletrónica 1 e 2, telecomunicações, comportamento organizacional, programação, otimização e métodos de decisão em sistemas elétricos de energia, gestão de projetos,

instalações elétricas especiais, empreendedorismo e inovação e gestão financeira e análise de investimento.

4.3. PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO

Suportado no trabalho já desenvolvido, seria agora possível desenvolver outros sistemas semelhantes para o setor agrícola, nomeadamente sistemas de reconhecimento de padrões, que aliados a sistemas robotizados, pudessem atuar em outros diferentes tipos de frutos, legumes e fungos.

Seria interessante também desenvolver um algoritmo capaz de realizar o aperfeiçoamento constante das várias ações desempenhadas pelo MES. Considerando que todas as melhorias propostas teriam sido realizadas, o passo seguinte seria implementar um algoritmo de inteligência artificial capaz de melhorar continuamente o processo produtivo, controlando cada vez melhor os vários parâmetros, nomeadamente: humidade do ar e tronco, temperatura do ar e do tronco, exposição solar, arejamento, melhor altura e zonas a colher os cogumelos, entre outros.

De seguida é dado o ponto de partida para a criação desse algoritmo de inteligência artificial.

4.3.1. MELHORAMENTO CONSTANTE DO PRODUTO FINAL E PROCESSOS

Tal como o vinho do porto que ao longo de centenas de anos, teve a sua produção aperfeiçoada, para se conseguir o sabor ideal.

Também na indústria de produção de cogumelos, existe um constante aperfeiçoamento de técnicas e métodos de produção.

A decisão pela temperatura ideal, arejamento, exposição solar, humidade, altura melhor para o choque térmico, tipo de micélio etc... são fatores que de indústria para indústria são diferentes. Não há uma receita exata para como parametrizar estes fatores, varia muito com condicionantes como por exemplo a região onde a indústria está instalada.

Nomeadamente, se essa região está num vale com poucos ventos, se esta numa zona de temperaturas superiores como é o caso do Alentejo, etc...

Posto isto, a implementação de um sistema de inteligência artificial, que através de um algoritmo, fosse ao longo dos ciclos produtivos testando várias hipóteses e aprimorando até chegar ao ponto ótimo de produção, seria uma grande mais valia.

Entende-se que a implementação de um sistema destes traria avanços consideráveis na produção num curto espaço de tempo.

Neste momento a melhoria das técnicas produtivas de cogumelos, é feita por tentativa e erro e através da comunicação oral entre produtores, que vão relatando os testes e técnicas que utilizaram, e descrevendo os bons ou maus resultados de tal teste. Com a implementação de um sistema de IA, essa melhoria seria muito mais célere.

A IA não é mais do que um algoritmo informático capaz de “aprender” por si só a chegar ao ponto ótimo. A dificuldade de implementação de um *software* destes é tecnicamente mediano, e não teria um custo exorbitante.

Propõem-se as seguintes diretrizes para a implementação de um *software* com as características apresentadas:

Os vários cestos de cogumelos, teriam uma etiqueta RFID instalada, com os seguintes dados:

- Lote do tronco
- Número do tronco
- Proveniência do tronco
- Dia em que o tronco chegou à indústria
- Hora em que saiu do stock para a furação
- Hora da inoculação
- Hora do empilhamento
- Hora do choque térmico
- Hora da colheita
- Tamanho do cogumelo na colheita
- Presença de bactérias no tronco: Sim / Não
- Produto conforme?
- Hora da colocação em arca frigorífica
- Destino do produto / cliente / encomenda
- Dia de saída do produto da fábrica

- Dia acordado de chegada do produto ao cliente
- Lote / Tipo de micélio
- Série de dados relativos a:
 - Temperatura de 30 em 30 minutos do ambiente
 - Humidade de 30 em 30 minutos do ambiente
 - Momentos do arejamento
 - Momentos da exposição solar e duração

Variáveis do *software*:

- Tronco proveniente da região X
- Colhido na altura do ano X
- Chegou com grau de humidade X
- Micélio X
- Inoculação a X profundidade
- Número de inoculações por tronco X
- Altura do ano da inoculação X
- Tempo de permanência do tronco no choque térmico
- Tempo após choque térmico que o cogumelo chegou ao estado de colheita
- Número de colheitas num dado tronco X até à inutilização do mesmo
- Temperatura ambiente
- Humidade ambiente
- Arejamentos realizados no tempo
- Exposição solar realizada
- Temperatura exterior da estufa
- Humidade exterior da estufa

Rotinas e funções a desempenhar:

Através da fixação de variáveis e alteração de um só parâmetro, poderíamos iterativamente ir verificando, qual o resultado, bom ou mau, dessa alteração.

Com a continuação desse processo iterativo, e teste exaustivo das variáveis, chegaríamos a um ponto ótimo de produção, onde saberíamos exatamente o que fazer e quando.

Contudo tal programa seria mais complexo do que alterar um parâmetro, e deixar os outros estáticos. Teríamos de testar iterativamente, a alteração dos parâmetros 2 a 2, 3 a 3, etc....

Como é obvio, cada um destes fatores não pode ser estudado isoladamente, existem interinfluências das variáveis, mas não parece ser de extrema dificuldade a criação de tal algoritmo.

Como as possibilidades são muitas, poderíamos reservar uma zona exclusivamente para testes, para que em 2 ou 3 anos conseguíssemos chegar a um aprimoramento da produção já bastante desenvolvido.

Contudo a implementação de um sistema destes seria extremamente complexo e dispendioso, e obrigaria a que tivessem sido realizadas quase todas as sugestões de melhoramentos anteriormente sugeridos.

Referências bibliográficas

- Páginas da internet

- [1] http://www3.weforum.org/docs/WEF_GAC15_Technological_Tipping_Points_report_2015.pdf, Consultada em: outubro de 2017
- [2] <https://transformacaodigital.com/o-que-e-inteligencia-artificial/https://www.linkedin.com/pulse/ind%C3%BAstria-40-projeto-e-implanta%C3%A7%C3%A3o-m%C3%A1rcio-venturelli>, Consultada em: outubro de 2017
- [3] <https://canaltech.com.br/carreira/voce-sera-substituido-por-um-robo-101960/>, Consultada em: outubro de 2017
- [4] <https://marcioventurelli.com/2017/07/21/redes-na-industria-4-0/>, Consultada em: outubro de 2017
- [5] <https://www.youtube.com/watch?v=vyHzCqSxPGw>, Consultada em: outubro de 2017
- [6] <https://www.linkedin.com/pulse/big-data-na-ind%C3%BAstria-40-m%C3%A1rcio-venturelli?trk=v->, Consultada em: outubro de 2017
[2017feed&lipi=urn%3Ali%3Apage%3Ad_flagship3_feed%3BO9Eu5JEQ%2FkN6JLCqZC%2Binw%3D%3D&lipi=urn%3Ali%3Apage%3Ad_flagship3_feed%3BBb6%2FVRMSSpaPsfMkTeawXw%3D%3D](https://www.linkedin.com/feed/?lipi=urn%3Ali%3Apage%3Ad_flagship3_feed%3BO9Eu5JEQ%2FkN6JLCqZC%2Binw%3D%3D&lipi=urn%3Ali%3Apage%3Ad_flagship3_feed%3BBb6%2FVRMSSpaPsfMkTeawXw%3D%3D), Consultada em: outubro de 2017
- [7] <https://www.dinheirovivo.pt/empresas/alemanha-apoia-entrada-da-industria-nacional-no-4-0/>, Consultada em: outubro de 2017
- [8] <https://blog.algartelem.com.br/tecnologia/o-que-os-gigantes-de-ti-prometem-para-o-futuro-das-empresas-com-ia/>, Consultada em: outubro de 2017
- [9] https://canaltech.com.br/carreira/voce-sera-substituido-por-um-robo-101960/?utm_medium=newsletter&utm_campaign=newsletter-2017-10-17&utm_source=newsletter-canaltech, Consultada em: outubro de 2017
- [10] <https://www.citiSystems.com.br/sensor-de-visao/>, Consultada em: outubro de 2017

- [11] <https://www.citiSystems.com.br/o-que-e-automacao-industrial/>, Consultada em: outubro de 2017
- [12] https://pt.wikipedia.org/wiki/Aprendizado_de_m%C3%A1quina, Consultada em: outubro de 2017
- [13] <https://blog.sonda.com/gemeo-digital-o-que-e-e-como-ajuda-no-desenvolvimento-de-um-produto/>, Consultada em: outubro de 2017
- [14] <http://www.prosyst.com.br/blog/buhler-sanmak-vira-case-de-sucesso-na-industria-4-0-com-sistema-prosyst/>, Consultada em: outubro de 2017
- [15] <https://www.linkedin.com/pulse/industry-40-volkswagen-group-sofiane-ferhaoui/>, Consultada em: outubro de 2017
- [16] <https://medium.com/shaping-work/industry-4-0-the-rise-of-smart-factory-338a3541e689>, Consultada em: outubro de 2017
- [17] <https://industry40insights.com/successful-implementation-of-industry-4-0-in-manufacturing/>, Consultada em: outubro de 2017
- [18] http://www.boschrexroth.com/connected-automation?gclid=Cj0KCQjwz7rXBRD9ARIsABfBl81rnT9PnJqh8rc7eXZQCvABPF2YrzVnj8SK70OmaSaoswn2wJjtKwIaAgnQEALw_wcB, Consultada em: outubro de 2017
- [19] <https://blog.robotiq.com/continental-automotive-pushes-for-industry-4.0-with-robotiq-and-universal-robots>, Consultada em: outubro de 2017
- [20] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Cogumelo>, Consultada em: outubro de 2017
- [21] http://www.boletosdeorum.pt/epages/960387485.sf/pt_PT/?ObjectPath=Categories, Consultada em: outubro de 2017
- [22] <https://www.quadrante-natural.pt/>, Consultada em: outubro de 2017
- [23] <http://www.aguarela-verde.pt/beneficios.php?Lang=pt>, Consultada em: outubro de 2017
- [24] <https://pt.santanderadvance.com/detalhe-noticia/como-cultivar-cogumelos-em-troncos.html>, Consultada em: outubro de 2017
- [25] <http://www.sindimetalrs.org.br/associados/crk-automacao-industrial-ltda/automacao-de-esteiras-para-transporte-de-toras-na>, Consultada em: outubro de 2017

- [26] <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/china-makers-produced-mushrooms-inoculation-machine-wholesale-2017-60632491150.html>, Consultada em: outubro de 2017
- [27] <http://cogumelos.folgosametal.pt/galeria/#!>, Consultada em: outubro de 2017
- [28] <https://boletosdeorum.blogspot.pt/p/meio-de-cultura.html>, Consultada em: outubro de 2017

- Referências documentais

- [29] *Escrito em 15 de Jul. de 2016 (fonte: www.quadrante-natural.pt) , Consultada em: outubro de 2017*
- [30] *Market Guide for IoT Platforms, Published: 21 July 2016 ID: G00289432 / Analyst(s): Alfonso Velosa | Yefim V. Natis | Benoit J. Lheureux | Eric Goodness*
- [31] *Escrito por Mohit Agrawal, Published on March 8, 2017*
- [32] *Transformação Digital na Indústria: Indústria 4.0 e a Rede de Água Inteligente no Brasil - Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências, Marcelo Teixeira De Azevedo, 2017*
- [33] *Rumo à Indústria 4.0 - Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e gestão Indústria na faculdade de ciências e tecnologia da universidade de Coimbra, Pedro Miguel Nogueira Coelho, 2016*
- [34] *Digitalização de processos em ambiente empresarial: aplicação "Balcão da Inovação Tecnológica" - Tese / Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do instituto superior de engenharia do Porto*
- [35] *Indústria 4.0 – Aplicação a Sistemas de Manutenção - Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia do porto, Leandro Barreira Da Silva, 2017*
- [36] *The fourth Industrial Revolution, Klaus Schwab. The industry of the future, Alex Ross*
- [37] *Joao Veríssimo Lisboa e Carlos Ferreira Gomes, Gestão de Operações, Editora: vida económica, 2008 2ª edição*
- [38] *Lean Thinking, James P. Womark, Daniel T. Jones, Simon &schuster, 2016*
- [39] *Project Management, Harvard business Review Press, 2017*
- [40] *U. P. Mackenzie, A indústria 4.0 e o impacto na área de operações: Um ensaio (2016)*

- [41] *D. B. Yoffie and A. D. Chandler, Competing in the age of digital convergence, david b. y ed. (Boston: Harvard Business School Press, 1997)*
- [42] *PWC, Indústria 4.0 - Construir a empresa digital (2016)*
- [43] *M. Hermann, T. Pentek and B. Otto, Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios (2016)*
- [44] *S. Change and E. Dynamics, Historical coevolution of governance and technology in the industrial revolutions 14 (2003), pp. 365–384*
- [45] *I. Industrial, A Era da Internet Industrial e a Indústria 4.0 06 (2016), pp. 4–6*